



UNIVERSIDAD DE CHILE – FACULTAD DE CIENCIAS – ESCUELA DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y BIOTECNOLOGÍA

“EXPLORANDO LAS RELACIONES ENTRE RUIDO AMBIENTAL, MATERIAL  
PARTICULADO Y MONÓXIDO DE CARBONO EN COMUNAS DE SANTIAGO”

Seminario de Título entregado por la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de  
los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental.

**DANILO ESTEBAN LUCERO CASTRO**

Director de seminario de Título: Carlos Andrés Manzano Dávila

Codirector: Pablo Kogan Musso

Noviembre 2022

Santiago – Chile

ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES Y BIOTECNOLOGÍA – FACULTAD DE  
CIENCIAS – UNIVERSIDAD DE CHILE



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Ciencias Ambientales y Biotecnología de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el Sr Danilo Esteban Lucero Castro.

“EXPLORANDO LAS RELACIONES ENTRE RUIDO AMBIENTAL, MATERIAL PARTICULADO Y MONÓXIDO DE CARBONO EN COMUNAS DE SANTIAGO”

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental.

**Dr. Carlos Manzano Dávila**

**Director Seminario de Título:** \_\_\_\_\_

**Comisión Revisora y Evaluadora**

**Presidente Comisión:** \_\_\_\_\_

**Evaluador:** \_\_\_\_\_

Santiago de Chile, .....

## RESEÑA



Nací en la ciudad de San Felipe, Región de Valparaíso, un 13 de agosto de 1996. Viví mis primeros años en la casa de mis abuelos en Jahuel, una pequeña localidad rural de la comuna de Santa María, ubicada aproximadamente a 15 minutos de San Felipe. Fue en ese sector donde viví mis primeros años de vida y donde desde niño aprendí a respetar la naturaleza y el medioambiente.

Posteriormente, junto a mis padres nos trasladamos a un lugar más central y de más fácil acceso de la comuna, donde viví parte de mi infancia y adolescencia. Desde entonces comencé mi educación en el Instituto Abdón Cifuentes en San Felipe, colegio en el que cursé desde pre-kinder a cuarto medio y donde inicié mi camino en el área científica, específicamente asociado a la asignatura de química.

En 2016 decidí viajar a Santiago, Región Metropolitana, para comenzar a estudiar Química Ambiental en la Universidad de Chile, un periodo largo y difícil que me impulsó a superarme y lograr metas gracias a cada desafío que se presentaba. En 2021, aún en pandemia, comencé este proyecto de tesis que se extendió por casi dos años de intensa investigación. Finalmente, fue gracias a este proyecto, el cual culminó a fines de 2022, que al egresar de la Universidad en 2021 inicié mi carrera profesional como Químico Ambiental en EAI consultores, trabajando en la gestión ambiental de proyectos de

energías renovables mediante la evaluación de sus impactos en los componentes de calidad del aire y emisiones de ruido.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco especialmente al profesor Carlos Manzano por su ayuda y motivación desde que fui su alumno en tiempos de pandemia y comenzó a guiarme en mi Unidad de Investigación, hasta la culminación de este Seminario de Título. También por su apoyo en mi proceso de práctica profesional, que finalmente me permitió seguir desempeñándome como profesional en EAI consultores.

Igualmente agradezco al profesor Pablo Kogan por aceptarme como un alumno más en su curso de Acústica Ambiental, entregarme su conocimiento y las herramientas necesarias para poder comprender los conceptos relacionados con el ruido, y por su colaboración como codirector en este seminario de título.

Asimismo me gustaría dar las gracias al equipo de EAI consultores, por su paciencia, motivación y apoyo dentro de este largo proceso.

Finalmente, quiero agradecer a mi padre y madre por darme la oportunidad de estudiar y poder realizarme en mi formación académica, lo cual fue fundamental para mi desarrollo personal y para poder convertirme en una persona independiente. Quiero dar las gracias a mis familiares, en especial a Antonia, mi pareja y mejor amiga, por su apoyo incondicional y motivación en los momentos más difíciles de todo este proceso, agradezco a su familia y también a todas las personas que siempre creyeron en mí y que con pequeños mensajes o palabras de aliento me animaron a continuar estudiando y trabajando para alcanzar mis metas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
La contaminación ambiental en Santiago como producto de la urbanización .....	1
Normativa ambiental vigente en Chile .....	3
Efectos de los contaminantes en el bienestar de las personas.....	5
Distribución de la contaminación en Santiago .....	8
Objetivo general .....	10
Objetivos específicos.....	10
II. METODOLOGÍA.....	11
Áreas de estudio .....	11
Recolección de datos .....	18
MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> y CO .....	18
Ruido .....	20
Validación y procesamiento de datos .....	21
MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> y CO .....	21
MP <sub>2.5</sub> y MP <sub>10</sub> .....	22
CO .....	22
Velocidad y dirección del viento.....	22
Análisis mediante software R.....	22
Ruido .....	24
Análisis estadístico .....	24
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
Niveles de ruido .....	26
Análisis MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> y CO .....	38
Correlaciones entre MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> , CO y Ruido.....	57
IV. CONCLUSIÓN .....	69
V. REFERENCIAS .....	72
VI. ANEXO .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Descripción del área de estudio, comuna de Las Condes .....	11
<b>Tabla 2:</b> Descripción del área de estudio, comuna de Puente Alto.....	12
<b>Tabla 3:</b> Descripción del área de estudio, comuna de Maipú.....	12
<b>Tabla 4:</b> Promedio de mediciones de ruido en vías altamente transitadas para las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.....	27
<b>Tabla 5:</b> Promedio de mediciones en parques para las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.....	27
<b>Tabla 6:</b> Tendencias en el transporte de MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos en los períodos de análisis.....	54
<b>Tabla 7:</b> Promedios horarios de ruido en vías de alto tránsito vehicular, MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.....	57
<b>Tabla 8:</b> Correlaciones de Pearson y Spearman entre contaminantes y su significancia. ....	58
<b>Tabla 9:</b> Promedios horarios de ruido en parques, MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú. ....	59
<b>Tabla 10:</b> Correlaciones de Pearson y Spearman entre contaminantes y su significancia. ....	60
<b>Tabla 11:</b> Valores de presión sonora cuadrática en vías de alto tránsito vehicular, y niveles de MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.....	61
<b>Tabla 12:</b> Correlaciones de Pearson y Spearman entre contaminantes y su significancia. ....	62
<b>Tabla 13:</b> Valores de presión sonora cuadrática en parques, y concentraciones de MP <sub>2.5</sub> , MP <sub>10</sub> y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.....	63
<b>Tabla 14:</b> Correlaciones de Pearson y Spearman entre contaminantes y su significancia. ....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación geográfica de los puntos de medición .....	13
<b>Figura 2:</b> Ubicación geográfica de área de estudio en la comuna de Las Condes .....	14
<b>Figura 3:</b> Ubicación geográfica de área de estudio en la comuna de Puente Alto.....	14
<b>Figura 4:</b> Ubicación geográfica de área de estudio en la comuna de Maipú y Cerrillos	15
<b>Figura 5:</b> Lugar de medición Av. Las Condes / Calle San Damián, Las Condes. ....	15
<b>Figura 6:</b> Lugar de medición Av. Concha y Toro / Calle Independencia, Puente Alto. .	16
<b>Figura 7:</b> Lugar de medición Av. 5 de abril, Maipú.....	16
<b>Figura 8:</b> Lugar de medición Parque Charles Hamilton, Las Condes.....	17
<b>Figura 9:</b> Lugar de medición Parque Ciudad del Sol, Puente Alto.....	17
<b>Figura 10:</b> Lugar de medición Bandejón 5 de abril, Maipú. ....	18
<b>Figura 11:</b> Leq Promedio en dB(A) de mediciones de tráfico vehicular en comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú. ....	28
<b>Figura 12:</b> Leq Promedio en dB(A) de mediciones en parques en comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.....	29
<b>Figura 13:</b> Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario AM, en la comuna de Las Condes.....	32
<b>Figura 14:</b> Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario PM, en la comuna de las Condes. ....	33
<b>Figura 15:</b> Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario AM, en la comuna de Puente Alto. ....	33
<b>Figura 16:</b> Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario PM, en la comuna de Puente Alto. ....	34
<b>Figura 17:</b> Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario AM, en la comuna de Maipú.....	34
<b>Figura 18:</b> Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario PM, en la comuna de Maipú.....	34
<b>Figura 19:</b> Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido de flujo vehicular por comuna.....	35
<b>Figura 20:</b> Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en parques por comuna. ....	36
<b>Figura 21:</b> Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido de tráfico vehicular y parques, en las 3 comunas de estudio. ....	37



<b>Figura 22:</b> Variación temporal de las concentraciones de MP <sub>2.5</sub> por hora, durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos. ....	38
<b>Figura 23:</b> Variación temporal de las concentraciones de MP <sub>2.5</sub> por hora y día de la semana durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos. ....	39
<b>Figura 24:</b> Variación temporal de las concentraciones de MP <sub>10</sub> por hora, durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos. ....	40
<b>Figura 25:</b> Variación temporal de las concentraciones de MP <sub>10</sub> por hora y día de la semana durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos. ....	41
<b>Figura 26:</b> Variación temporal de las concentraciones de CO por horas, durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos. ....	42
<b>Figura 27:</b> Variación temporal por hora y día de la semana de las concentraciones de CO durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos. ....	42
<b>Figura 28:</b> Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> por velocidad y dirección del viento durante el período verano de 2021-2022, aplicando comando “min.bin=3”. ....	46
<b>Figura 29:</b> Concentraciones de MP <sub>10</sub> por velocidad y dirección del viento durante el período verano de 2021-2022, aplicando comando “min.bin=3”. ....	47
<b>Figura 30:</b> Concentraciones de CO por velocidad y dirección del viento durante el período verano de 2021-2022, aplicando comando “min.bin=3”. ....	48
<b>Figura 31:</b> Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016 en la comuna de Puente Alto, aplicando comando “min.bin=3”. ....	49
<b>Figura 32:</b> Concentraciones de MP <sub>10</sub> del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016 en la comuna de Puente Alto, aplicando comando “min.bin=3”. ....	50
<b>Figura 33:</b> Concentraciones de CO del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016 en la comuna de Puente Alto, aplicando comando “min.bin=3”. ....	51
<b>Figura 34:</b> Concentraciones promedio históricas de MP <sub>2.5</sub> del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I, aplicando comando “min.bin=3”. ....	52
<b>Figura 35:</b> Concentraciones promedio históricas de MP <sub>10</sub> del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I, aplicando comando “min.bin=3”. ....	53

<b>Figura 36:</b> Concentraciones promedio históricas de CO del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I, aplicando comando “min.bin=3”.	54
<b>Figura 37:</b> Dispersión de datos de Ruido y MP <sub>2.5</sub> en vías de alto tránsito vehicular.	58
<b>Figura 38:</b> Dispersión de datos de Ruido y MP <sub>10</sub> en vías de alto tránsito vehicular.	58
<b>Figura 39:</b> Dispersión de datos de Ruido y CO en vías de alto tránsito vehicular.	58
<b>Figura 40:</b> Dispersión de datos de Ruido y MP <sub>2.5</sub> en parques.	60
<b>Figura 41:</b> Dispersión de datos de Ruido y MP <sub>10</sub> en parques.	60
<b>Figura 42:</b> Dispersión de datos de Ruido y CO en parques.	60
<b>Figura 43:</b> Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y MP <sub>2.5</sub> en vías de alto tránsito vehicular.	62
<b>Figura 44:</b> Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y MP <sub>10</sub> en vías de alto tránsito vehicular.	62
<b>Figura 45:</b> Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y CO en vías de alto tránsito vehicular.	62
<b>Figura 46:</b> Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y MP <sub>2.5</sub> en parques.	64
<b>Figura 47:</b> Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y MP <sub>10</sub> en parques.	64
<b>Figura 48:</b> Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y CO en parques.	64
<b>Figura 49:</b> Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> por velocidad y dirección del viento durante el período de verano en los años 2021-2022.	95
<b>Figura 50:</b> Concentraciones de MP <sub>10</sub> por velocidad y dirección del viento durante el período de verano en los años 2021-2022.	96
<b>Figura 51:</b> Concentraciones de CO por velocidad y dirección del viento durante el período verano en los años 2021-2022.	97
<b>Figura 52:</b> Concentraciones de MP <sub>2.5</sub> del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016, en la comuna de Puente Alto.	98
<b>Figura 53:</b> Concentraciones de MP <sub>10</sub> del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016, en la comuna de Puente Alto.	99
<b>Figura 54:</b> Concentraciones de CO del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016, en la comuna de Puente Alto.	100
<b>Figura 55:</b> Concentraciones promedio históricas de MP <sub>2.5</sub> del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I.	101

**Figura 56:** Concentraciones promedio históricas de MP<sub>10</sub> del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I. .... 102

**Figura 57:** Concentraciones promedio históricas de CO del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I. .... 103

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

SINCA: Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

INE: Instituto Nacional de Estadísticas.

RM: Región Metropolitana.

UE: Unión Europea.

MMA: Ministerio del Medio Ambiente.

U.S. EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

D.S: Decreto Supremo.

SMA: Superintendencia del Medio Ambiente.

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

## RESUMEN

Actualmente, la ciudad de Santiago es el centro urbano más importante de Chile, principalmente debido al gran número de actividades productivas que se desarrollan día a día en la ciudad capital. El gran crecimiento urbano y demográfico ha producido una serie de efectos que inciden en la calidad de vida de las personas, uno de ellos es la contaminación ambiental, la cual se produce por la emisión de contaminantes que constituyen un riesgo tanto para la salud de las personas como para la calidad del medioambiente. Existen muchos contaminantes que tienen distinta naturaleza, y en ese sentido, la contaminación se puede provocar por la presencia de más de un tipo de contaminante en el ambiente, ya que los efectos de cada uno dependerán de los niveles o concentraciones que puedan alcanzar en un determinado período de tiempo. La ciudad de Santiago presenta más de un tipo de contaminación en sus comunas: dos de estas son la contaminación atmosférica y la contaminación acústica.

La contaminación atmosférica se vincula principalmente con la presencia de contaminantes atmosféricos que afectan la calidad del aire. Por otra parte, los altos niveles de ruido que generan contaminación acústica tienen una naturaleza distinta a los contaminantes atmosféricos. Existe evidencia científica que asocia a este tipo de contaminantes entre sí, principalmente debido a que las fuentes móviles que circulan día a día por la ciudad pueden emitir ambos tipos de contaminación. Adicionalmente, hay autores que afirman que la distribución de la contaminación se ve influenciada por los niveles socioeconómicos que caracterizan a los lugares. De acuerdo con esto, la ciudad de Santiago se presenta como un lugar idóneo para evaluar estudios de este tipo debido

a la distinta realidad socioeconómica que se vive en las comunas de la capital. En este estudio, se evaluaron las correlaciones de los niveles de ruido y las concentraciones de  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO en 3 comunas de Santiago que representan realidades socioeconómicas distintas. El análisis consideró mediciones de ruido en entornos de tránsito vehicular y en parques en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú. Adicionalmente, se validaron y luego se evaluaron los niveles horarios de  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO de estaciones cercanas a cada comuna pertenecientes al Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), analizando la dispersión de contaminantes junto a datos de velocidad y dirección del viento en cada caso. El posterior análisis de correlaciones de Pearson y Spearman durante los mismos períodos de toma de muestras de ruido y niveles horarios de contaminantes no permitió establecer una relación clara entre los contaminantes atmosféricos y el ruido, ya que las correlaciones fueron distintas en las mediciones realizadas en vías de tránsito vehicular y en parques. En vías de tránsito vehicular, para el caso del  $MP_{2.5}$ , las correlaciones fueron negativas no significativas, para el  $MP_{10}$  las correlaciones fueron casi nulas y para el CO fueron positivas aunque no significativas. En parques se identificaron tendencias distintas, ya que para el caso del  $MP_{2.5}$ , se obtuvieron correlaciones positivas mínimas no significativas. para el  $MP_{10}$  estas fueron negativas moderadas, en donde se obtuvo una correlación de Pearson negativa significativa entre el  $MP_{10}$  y el ruido en dB(A). Para el CO en parques se obtuvieron coeficientes de correlación cercanos a cero.

## ABSTRACT

Currently, the city of Santiago is the most important urban center in Chile, mainly due to the large number of productive activities that take place every day in the capital city. The great urban and demographic growth has produced a series of effects that affect the people's quality of life, one of them is environmental pollution, which is produced by the emission of pollutants that constitute a risk both for the health of people and the quality of the environment. There are many types of pollutants that have different nature, and in this sense, environmental pollution can be caused by the presence of more than one type of pollutant in the environment, since the effects of each one will depend on the levels or concentrations that they can reach in a given period of time. The city of Santiago presents more than one type of pollution in its communes: two of these are air pollution and noise pollution.

Air pollution is mainly linked to the presence of air pollutants that affect air quality. On the other hand, the high levels of noise that generate acoustic pollution have a different nature from atmospheric pollutants. There is scientific evidence that associates these types of pollutants with each other, mainly due to the fact that the mobile sources that circulate every day throughout the city can emit both types of pollution. Additionally, there are authors who affirm that the distribution of contamination is influenced by the socioeconomic levels that characterize the places. According to this, the city of Santiago is presented as an ideal place to evaluate studies of this type due to the different socioeconomic reality that exists in the communes of the capital. In this study, the correlations of acoustic levels and concentrations of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  and CO were evaluated in 3 Santiago communes that represent different socioeconomic realities. The analysis

considered noise measurements of vehicular traffic environments and parks located in Las Condes, Puente Alto and Maipú. Additionally, the hourly levels of  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  and CO were validated and then evaluated at stations close to each commune belonging to the National Air Quality Information System (SINCA), analyzing the dispersion of pollutants together with velocity data and wind direction in each case. The subsequent analysis of Pearson and Spearman correlations during the same noise sampling periods and hourly levels of pollutants did not allow a clear relationship between air pollutants and noise to be established, since the correlations were different in the measurements made of vehicular traffic and in parks. On vehicular traffic roads, in the case of  $PM_{2.5}$ , the correlations were negative but not significant, for  $PM_{10}$  the correlations were almost null and for CO they were positive but not significant. Different trends were identified in parks, since in the case of  $PM_{2.5}$ , minimal and non-significant positive correlations were obtained, while for the  $PM_{10}$  these were moderately negative, where a significant negative Pearson correlation was obtained between the  $PM_{10}$  and the noise in dB(A). For CO in parks, correlation coefficients close to zero were obtained.



## I. INTRODUCCIÓN

### **La contaminación ambiental en Santiago como producto de la urbanización**

La contaminación ambiental es un problema que afecta a cientos de ciudades a nivel mundial. Actualmente, en términos de concentraciones de material particulado fino (MP<sub>2.5</sub>), Chile tiene 11 de las 15 ciudades más contaminadas en América Latina, y durante el 2021, su capital Santiago presentó niveles de contaminación del aire que son 5 a 7 veces superiores a las directrices que establece la OMS (IQAir, 2021).

La ciudad capital y principal centro urbano del país ha sufrido las consecuencias de un gran crecimiento urbano y demográfico. Según las cifras del censo de 2017 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), un 40,5% de la población del país vive en la Región Metropolitana (RM) y de las 52 comunas presentes en la RM, 34 comunas concentran a un 39% del total de la población de Chile. Esta situación se traduce en complicaciones que incluye un aumento en la pobreza, en hacinamiento producto de la densidad de población o en problemas de carácter ambiental (Toloza, 2020). A su vez, este crecimiento trae consigo un incremento de las actividades que normalmente se desarrollan en núcleos urbanos y teniendo en cuenta la gran cantidad de vehículos motorizados que circulan día a día por la ciudad, se han generado altos niveles de contaminación ambiental que han persistido a través de los años.

La contaminación atmosférica y el ruido son elementos casi cotidianos en la vida de las personas que habitan centros urbanos ya que día a día, millones de personas se ven expuestas involuntariamente a altos niveles de contaminación atmosférica y contaminación acústica, producto de la presencia de contaminantes que existen en el

aire que se respira y a los altos niveles de presión sonora generados por ruidos producto del tránsito vehicular, que es una de las principales fuentes de contaminación acústica urbana. Según el umbral de evaluación definido en la directiva del ruido ambiental en la Unión Europea (UE), al menos 100 millones de personas en la UE se ven perjudicadas directamente por ruidos de tráfico y se estima que en Europa occidental al menos 1,6 millones de años de vida saludable se pierden producto del ruido generado por tráfico vehicular (WHO, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, el gran flujo vehicular que existe por las grandes avenidas de Santiago hace que sean parte de los lugares más ruidosos de la capital, en conjunto con las autopistas. Adicionalmente, existe una exposición constante al ruido nocturno en las estaciones de monitoreo de ruido ambiental posicionadas en distintas comunas de Santiago, las cuales pertenecen a la red de monitoreo de ruido del Ministerio del Medio Ambiente, en las cuales se presentan niveles inaceptables de ruido acumulado en gran parte de las estaciones que hay en Santiago, tanto en los niveles de ruido equivalente acumulados en los años 2018-2019 como en los niveles actuales (MMA, 2022).

Las fuentes móviles en ruta, que se conforman por todos los automóviles, motocicletas, buses y camiones que circulan diariamente por la ciudad de Santiago, generan emisiones asociadas a una serie de contaminantes, entre las cuales es posible mencionar al material particulado fino y grueso ( $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$ ), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) e hidrocarburos volátiles (HC); todos se caracterizan por ser contaminantes primarios, es decir, que son emitidos directamente desde las fuentes de emisión (MMA, 2016). Por una parte, el material particulado es un contaminante atmosférico que son partículas -de carácter sólido o líquido- en suspensión

que son emitidas tanto por fuentes naturales como antropogénicas (Morales, 2006). Este puede clasificarse según su diámetro en donde es posible identificar a las partículas de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones correspondientes al  $MP_{10}$  y partículas de diámetro menor a 2.5 micrones que se conocen como el  $MP_{2.5}$  (MMA, 2016). Por otra parte, el monóxido de carbono (CO) es un gas tóxico, inodoro e incoloro que se forma por la combustión incompleta de combustibles cuando existen cantidades muy limitadas de oxígeno. Las principales fuentes emisoras de este contaminante son procesos industriales y fuentes móviles que incluyen vehículos motorizados de distintas dimensiones, en este caso ambas fuentes emiten alrededor del 80% de las emisiones atmosféricas de CO (MMA, 2016).

### **Normativa ambiental vigente en Chile**

En Chile, según el Art. 2° de la ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente, se entiende como contaminante a “todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental” (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994).

Tomando en cuenta lo anterior, el material particulado fino ( $MP_{2.5}$ ) y grueso ( $MP_{10}$ ), el monóxido de carbono (CO) y el ruido, son considerados como contaminantes que se deben regular según las disposiciones de dicha ley, considerando lo expuesto en el Art. 1° de la ley 19.300, ya que dichos contaminantes podrían afectar al derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación.

El material particulado cuenta actualmente con dos normas primarias de calidad del aire: el D.S. N° 12/2010 del Ministerio del Medio Ambiente que establece la norma primaria de calidad ambiental para el  $MP_{2.5}$  y el D.S. N° 59/1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia que establece la norma primaria de calidad ambiental para el  $MP_{10}$  (SINCA, 2015). Por otra parte, el monóxido de carbono cuenta con una norma primaria de calidad del aire que es el D.S. N° 115/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (SINCA, 2015).

En el caso del ruido, Chile cuenta con el decreto N° 38/2011 del MMA que establece una norma de emisión de ruidos molestos, la cual entrega niveles máximos permitidos de emisión sonora pero solo para ruidos generados por fuentes fijas. Por otro lado, las fuentes móviles en ruta o actividades en espacios públicos tales como manifestaciones y eventos masivos no aplican a este decreto. De esta manera, considerando que Chile no cuenta con una norma primaria que resguarde la salud de toda la población expuesta a distintas fuentes de ruido, el Ministerio del Medio Ambiente está en proceso para la elaboración de una norma de calidad primaria de ruido que defina objetivos de calidad acústica. Dicha norma establecerá estándares máximos globales de niveles de ruido ambiental lo que además permitirá fortalecer la gestión del ruido, reforzando su monitoreo en el país. De esta forma, si los objetivos de calidad definidos en esta norma se ven sobrepasados, será necesario crear Planes de Prevención y Descontaminación que implementen medidas de control con el objetivo de reducir la exposición al ruido ambiental (MMA, 2021).

### **Efectos de los contaminantes en el bienestar de las personas**

La contaminación atmosférica está catalogada por la OMS como el principal riesgo ambiental para la salud en base a un estudio realizado por Prüss-Ustün et al. (2016), señalando además que el material particulado (MP) de diámetro menor o igual a 10 micras es el contaminante atmosférico más relevante para la salud humana, ya que este tiene la capacidad de penetrar en los pulmones (MMA, 2020). En el caso del monóxido de carbono (CO), respirar aire con altas concentraciones de este contaminante disminuye la cantidad de oxígeno que se transporta en el torrente sanguíneo hacia órganos como el corazón o el cerebro. Esto puede causar, especialmente en ambientes cerrados, graves efectos en la salud de las personas, como por ejemplo: mareos, pérdida del conocimiento o incluso la muerte. En ambientes abiertos, si los niveles de CO se llegan a elevar demasiado, de igual manera se podrían generar efectos negativos en aquellas personas que se expongan a niveles elevados de este contaminante (U.S. EPA, 2021). Actualmente, como la ciudad de Santiago se posiciona como el principal centro socioeconómico y urbano del país, la contaminación atmosférica por contaminantes como el material particulado y monóxido de carbono está muy presente debido a las numerosas actividades industriales que se realizan, la alta población que la habita y el gran flujo de vehículos motorizados que recorren diariamente la ciudad. Dichos factores en conjunto con los rasgos climáticos que presenta la región metropolitana, los cuales dan lugar a una reducida dispersión de contaminantes, hacen que la capital de Chile presente niveles muy elevados de partículas suspendidas (Morales, 2006).

En comparación a este tipo de contaminación, el ruido no deja residuos de ningún tipo y además tiene un componente subjetivo que depende del receptor (Kogan, 2020). Esto puede hacer que la evaluación de este contaminante sea un poco más difícil ya que la

evaluación del impacto que puede tener el ruido en las personas muchas veces estará determinada por el grado de molestia comunitaria que exista en las ciudades (Rodríguez et al., 2015).

En el Sexto Reporte del Estado del Medio Ambiente (2021), se señala que el contaminante con mayores denuncias a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) es el ruido, el cual representa el 50% de las denuncias ambientales totales realizadas.

Por otra parte, cabe señalar que la exposición de las personas al ruido dependerá de cada lugar en específico, ya que este depende tanto de los sonidos naturales que puedan existir en dicho lugar como también de aquellos sonidos antropogénicos que pueden presentarse por acciones relativas a distintos tipos de actividades humanas entre los cuales es posible mencionar actividades sociales, procesos industriales, actividades de comercio, transporte, etc. Así como existen algunos tipos de sonidos naturales que son positivos para las personas, tales como sonidos propios de cada lugar tales como aquellos que provienen del viento, lluvia, vida silvestre y vegetación, también existen sonidos que tienen una influencia negativa en las personas y que muchas veces son motivo de molestia y desagrado. En ese sentido, diversas investigaciones manifiestan que altos niveles de ruido ambiental provocan efectos negativos de variada índole que pueden afectar en la salud, en la calidad de vida y en el bienestar de las personas que se expongan al ruido (Defra, 2014; Geravandi et al., 2015; Barrios, 2019). Este puede generar diversos efectos fisiológicos y psíquicos, cuya magnitud varía según el tipo de ruido y exposición de cada situación en particular (García, 2006). Por su parte, la Agencia Ambiental Europea afirma que el ruido de tránsito vehicular es un problema medioambiental serio, ya que por su parte el ruido ambiental genera que 6,5 millones de personas padezcan de perturbación crónica del sueño, contribuye a 48.000 casos por

año de isquemia al corazón, puede generar molestias crónicas de diverso carácter en aproximadamente 22 millones de adultos y genera alrededor de 12.000 muertes prematuras al año (EEA, 2020). En el Sexto Reporte del Estado del Medio Ambiente (2021) se afirma que en Santiago existe más de 1 millón de personas que están expuestas a niveles altos de ruido durante la noche, lo cual provoca que alrededor de 400.000 de estas personas tengan una alteración del sueño, afectando el bienestar de las personas (MMA, 2021).

En base a lo anterior, es posible afirmar que la contaminación acústica es uno de los riesgos más importantes actualmente para la salud, tanto en el mundo como en Chile, y continúa siendo un factor de preocupación para la generación de políticas que permitan reducir sus efectos.

Actualmente, Morgan & Shallcross (2021) afirman que existen estudios que indican la existencia de una correlación entre el CO y niveles de ruido en ambientes urbanos. En ese sentido, también existen autores que han estudiado la relación entre contaminantes atmosféricos y ruido, asociada específicamente a lugares de alto tráfico vehicular (Fung & Lee, 2011; Kim et al., 2012; Morelli et al., 2015). Al respecto, Kim et al. (2012) y Shu et al. (2014) demostraron que este tipo de correlaciones pueden ocurrir principalmente porque las fuentes móviles de contaminación atmosférica -que contemplan fuentes móviles en ruta- también generan importantes niveles de ruido. Adicionalmente, este tipo de investigaciones han permitido estudiar la relación entre ambos tipos de contaminantes para aplicarlo a modelos de distribución de tamaño y número de partículas, a partir de mediciones de ruido ambiental y su contenido espectral (Löbig & Weber, 2017).

Considerando lo anterior, es necesario continuar explorando estos contaminantes y los efectos que podrían ocasionar en la salud y el bienestar de las personas, más aún si

estos contaminantes pudiesen tener una relación entre ellos, ya que la exposición a estos contaminantes en centros urbanos es inminente, principalmente debido al gran número de actividades productivas que se desarrollan actualmente en este tipo de ciudades. Para esto, es necesario abordar el estudio de estos contaminantes utilizando metodologías que permitan cuantificar y analizar sus niveles en el ambiente, con el fin de explorar opciones que permitan mitigar tanto a los niveles de dichos contaminantes como los efectos que podrían potencialmente producir.

### **Distribución de la contaminación en Santiago**

Dado que el proceso de urbanización ha provocado un gran crecimiento urbano y demográfico en Santiago, se han asociado una serie de problemáticas a dificultades que afectan la calidad de vida de las personas, en donde el componente ambiental aparece como una forma más de segregación social (Salgado et al., 2009). A su vez, estos procesos de urbanización han ocasionado en cierta manera una degradación del ambiente que a lo largo del tiempo tiende a normalizarse entre las personas y a su vez se justifica con la búsqueda de un mayor bienestar social y económico.

La Agencia Ambiental Europea (2020) señala que las características personales, incluyendo la edad, género, estilo de vida o condiciones de salud pueden determinar qué tan susceptibles son las personas a los efectos adversos para la salud debido a la contaminación acústica. Adicionalmente, la capacidad de las personas para evitar el ruido también está influenciada por la situación socioeconómica que tenga cada individuo. Como Chile lidera la clasificación de los países menos igualitarios del mundo según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), y aunque tiene una economía en expansión y comparte tasas de crecimiento muy similares a las de otros países desarrollados como Finlandia y Alemania, la desigualdad es un



fenómeno que está muy presente, sobre todo considerando el contexto actual del país (Palacios-García et al., 2020). La condición de desigualdad que existe en Chile es reafirmada por el índice de desigualdad de Gini, el cual lo ubica dentro de los 15 países con la peor distribución de ingreso a nivel internacional, siendo uno de los países que lidera los rankings de desigualdad económica a nivel mundial (United Nations Development Programme, 2010). Es por esto que Chile aparece como un lugar idóneo para estudiar los impactos del ruido en la población, según lo que plantea la Agencia Ambiental Europea.

En base a lo anterior, es posible plantear que la exposición al ruido ambiental no afecta a todas las personas por igual, ya que personas con una mejor situación socioeconómica pueden tener los recursos económicos para poder pagar una vivienda en lugares mucho más tranquilos. De esta manera, una mayor exposición al ruido, mayor vulnerabilidad y menores recursos podrían reflejarse en impactos negativos en la salud en aquellas personas que tengan una situación económica menos favorable (European Commission, 2016).

### **Objetivo general**

Considerando el contexto actual de la ciudad de Santiago, la pregunta que guiará esta investigación es la siguiente: ¿Existe una relación entre los niveles de ruido ambiental, material particulado y monóxido de carbono en comunas de Santiago?

El objetivo principal de este trabajo es estudiar las relaciones entre el ruido, material particulado y monóxido de carbono en vías de alto tráfico y parques en 3 comunas de Santiago: Las Condes, Puente Alto y Maipú, mediante el análisis entre mediciones de ruido y concentración de contaminantes medidas con estaciones de monitoreo de calidad del aire, del Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire (SINCA).

### **Objetivos específicos**

- Evaluar niveles sonoros de exposición y sus características espectrales en vías de alto tráfico y en parques en las comunas de Puente Alto, Las Condes y Maipú.
- Evaluar los niveles horarios de  $MP_{10}$ ,  $MP_{2.5}$  y CO en las estaciones cercanas a Las Condes, Puente Alto y Maipú, pertenecientes a la red SINCA durante el mismo periodo de toma de muestras con el sonómetro.
- Analizar las correlaciones existentes entre  $MP_{10}$ ,  $MP_{2.5}$  y CO, y el ruido ambiental durante los periodos de medición, considerando variables meteorológicas tales como la dirección y velocidad del viento, con el fin de identificar desde donde provienen los contaminantes y las diferencias entre sitios de muestreo.

## II. METODOLOGÍA

### Áreas de estudio

Para determinar la ubicación de los puntos de monitoreo de ruido se consideraron áreas o lugares representativos, que comprendan lugares en un radio de 2 km de distancia a las estaciones de monitoreo de calidad del aire de las comunas, de acuerdo con el área de representatividad que mantienen dichas estaciones (Subdere, 2017). De no ser posible, se extenderá hasta un máximo de 5 km, ya que mientras mayores sean las distancias existen mayores probabilidades de que se altere significativamente el transporte de los contaminantes, causando que disminuya la representatividad de las mediciones de contaminantes, y por consiguiente, sus correlaciones con las mediciones de ruido. Las áreas de estudio fueron vías principales de las comunas, de alto flujo vehicular y parques de las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú. Las calles y parques definidas para este estudio se detallan en la Tabla 1 y su ubicación se muestra en la Figura 1.

**Tabla 1:** Descripción del área de estudio, comuna de Las Condes

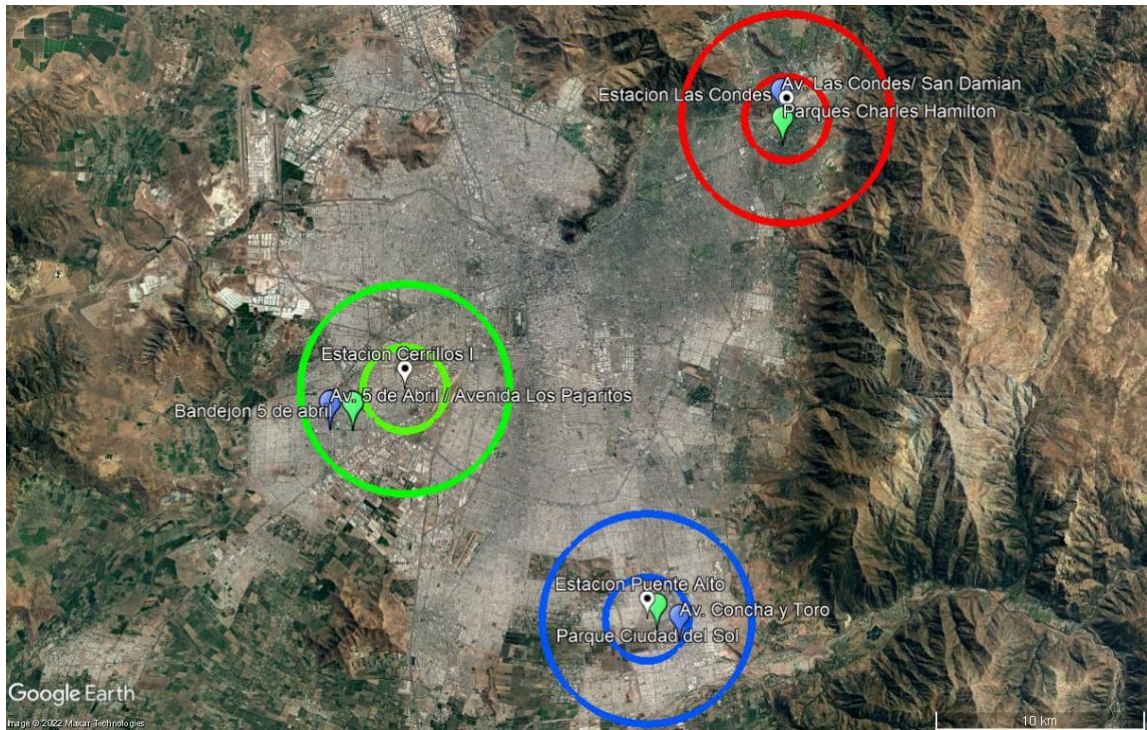
Lugar de medición	Ubicación	Coordenadas UTM		Distancia a Estación de Monitoreo (m)
		Este (m)	Norte (m)	
Calles	Av. Las Condes / San Damián	358.099	6.305.940	1.293
Parque	Parque Charles Hamilton	358.143	6.304.618	208
Estación de monitoreo	Av. Las Condes	358.305	6.305.906	0

**Tabla 2:** Descripción del área de estudio, comuna de Puente Alto

Lugar de medición	Ubicación	Coordenadas UTM		Distancia a Estación de Monitoreo (m)
		Este (m)	Norte (m)	
Calles	Av. Concha y Toro / Independencia	353.600	6.280.975	1.866
Parque	Parque Ciudad del Sol	352.522	6.281.499	700
Estación de monitoreo	Av. Ejército Libertador / Los Mañíos	352.049	6.282.013	0

**Tabla 3:** Descripción del área de estudio, comuna de Maipú y Cerrillos

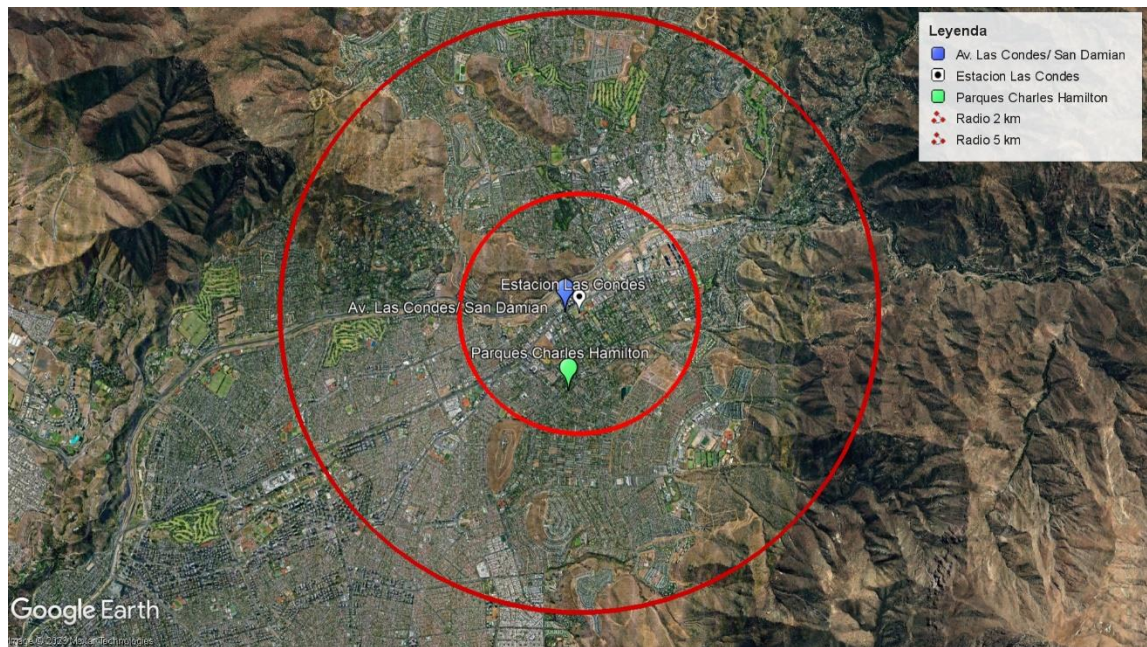
Lugar de medición	Ubicación	Coordenadas UTM		Distancia a Estación de Monitoreo (m)
		Este (m)	Norte (m)	
Calles	Av. 5 de abril	336.734	6.290.740	4.072
Parque	Bandejón 5 de abril	337.639	6.290.717	3.332
Estación de monitoreo	Centro Salud Familiar Norman Voullieme	340.277	6.292.747	0



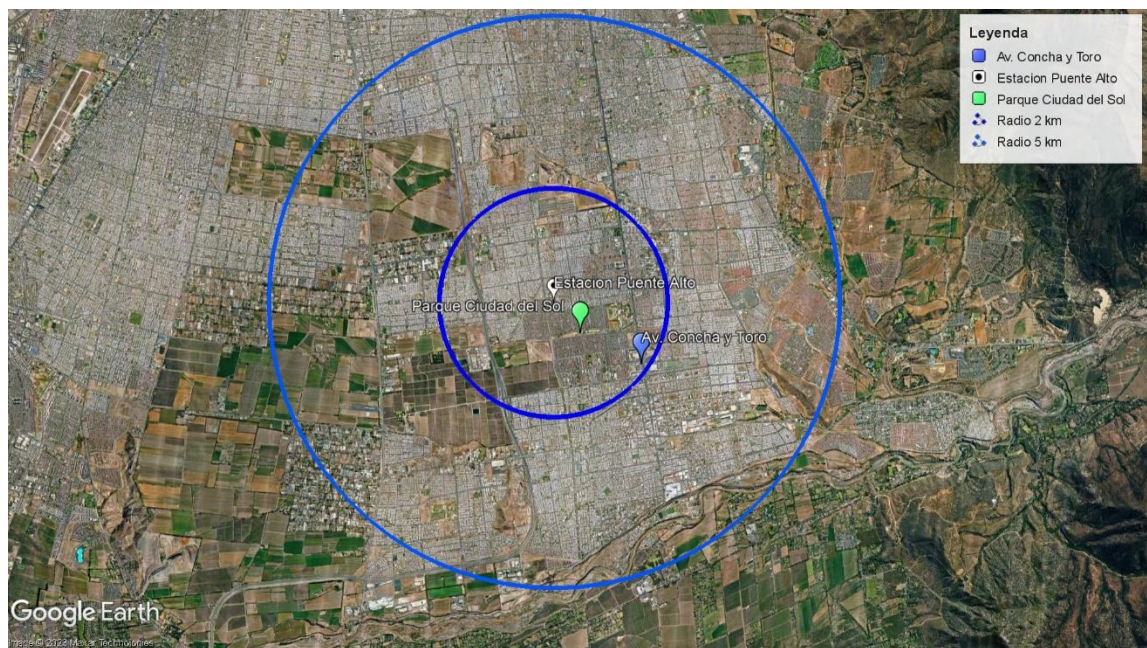
**Figura 1:** Ubicación geográfica de los puntos de medición

A continuación, se presenta el detalle de la ubicación geográfica por comuna en donde se observa cada estación de monitoreo, los puntos de medición de ruido en vías de alto tránsito vehicular y parques, y radios de distancia de 2 km y 5 km.



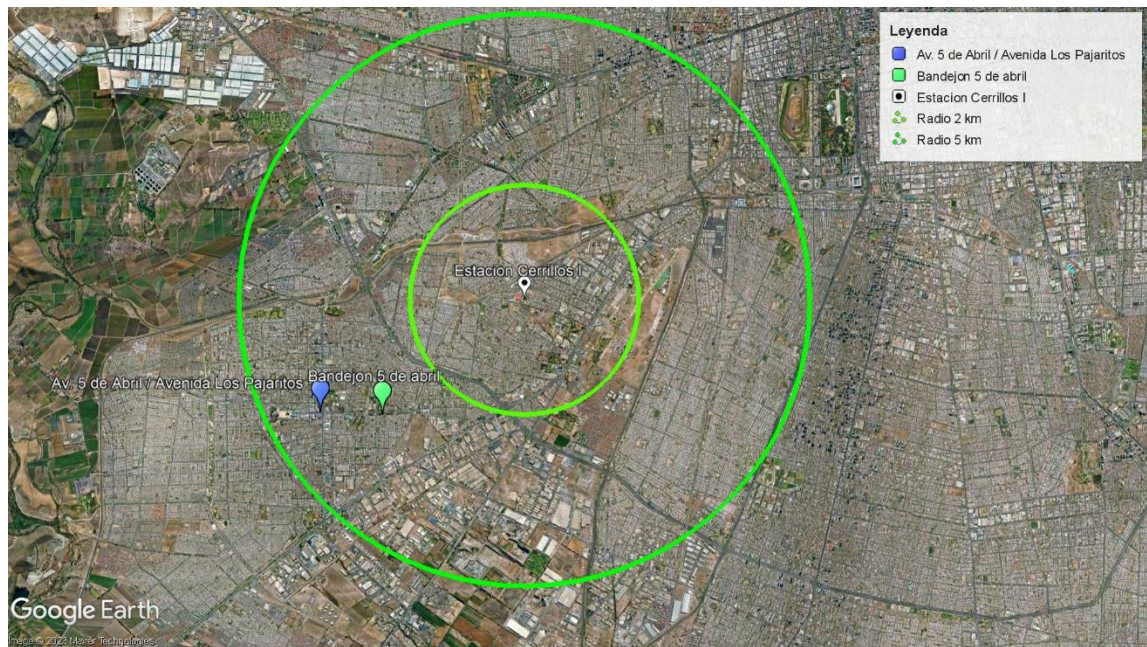


**Figura 2:** Ubicación geográfica de área de estudio en la comuna de Las Condes



**Figura 3:** Ubicación geográfica de área de estudio en la comuna de Puente Alto





**Figura 4:** Ubicación geográfica de área de estudio en la comuna de Maipú y Cerrillos

En las figuras posteriores se presenta una descripción de los tipos de ruido y las fuentes presentes en los lugares de medición, las cuales dan origen a los niveles de ruido medidos en cada caso.



**Figura 5:** Lugar de medición Av. Las Condes / Calle San Damián, Las Condes.

Las fuentes sonoras correspondientes al lugar presentado en la Figura 2 corresponden al tránsito de automóviles, buses, motocicletas, bicicletas, tránsito de peatones, personas conversando, avionetas y helicópteros.



**Figura 6:** Lugar de medición Av. Concha y Toro / Calle Independencia, Puente Alto.

Las fuentes sonoras correspondientes al lugar presentado en la Figura 3 corresponden al tránsito de automóviles, buses, motocicletas, bicicletas, comercio ambulante, tránsito de peatones y personas conversando.



**Figura 7:** Lugar de medición Av. 5 de abril, Maipú.



Las fuentes sonoras correspondientes al lugar presentado en la Figura 4 corresponden al tránsito de automóviles, buses, motocicletas, comercio ambulante, tránsito de peatones, personas conversando.



**Figura 8:** Lugar de medición Parque Charles Hamilton, Las Condes.

Las fuentes sonoras correspondientes al lugar presentado en la Figura 5 corresponden a personas trotando, niños jugando, canto de aves, viento en follaje de los árboles, tránsito constante de vehículos livianos a baja velocidad, perros ladrando.



**Figura 9:** Lugar de medición Parque Ciudad del Sol, Puente Alto.

Las fuentes sonoras correspondientes al lugar presentado en la Figura 6 corresponden a personas trotando, tránsito ocasional de vehículos livianos a baja velocidad, bicicletas, perros ladrando, canto de aves, viento en follaje de los árboles, niños jugando.



**Figura 10:** Lugar de medición Bandejón 5 de abril, Maipú.

Las fuentes sonoras correspondientes al lugar presentado en la Figura 7 corresponden a personas caminando, tránsito de bicicletas, follaje de árboles, tránsito de vehículos livianos y pesados, perros ladrando, viento en follaje de los árboles, niños jugando.

### **Recolección de datos**

#### **MP<sub>2.5</sub>, MP<sub>10</sub> y CO**

Para obtener los datos de los contaminantes atmosféricos a analizar, se descargaron de la plataforma del Sistema de Información Nacional de Calidad de Aire ([sinca.mma.gob.cl](http://sinca.mma.gob.cl)) el registro horario de los períodos necesarios de datos de calidad de aire para MP<sub>2.5</sub>, MP<sub>10</sub> y CO en conjunto con la velocidad y dirección del viento. El análisis se realizó en

archivos independientes para cada estación y contaminante, y en hojas individuales para cada año de análisis en el caso de la estación Cerrillos I. En las columnas de los archivos se ubicó la fecha (en formato “Día/Mes/Año Hora:Minuto”), la concentración horaria en [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] para el  $\text{MP}_{2.5}$  y  $\text{MP}_{10}$  y en [ppm] para el monóxido de carbono, y la dirección y velocidad del viento, en grados ( $^\circ$ ) y (m/s) respectivamente.

Dado que la comuna de Maipú no tiene una estación de la red SINCA, se garantizará que las distancias desde el punto de medición de ruido a la estación SINCA más cercana a la comuna, se ubiquen dentro de los rangos de 2 km o 5 km definidos en el área de estudio. En este caso, se considerará la estación “Cerrillos 1” para trabajar los datos de ruido referentes a la comuna de Maipú y se complementará con la comparación entre las comunas estudiadas previamente en el estudio “Explorando el exposoma de habitantes de la Región Metropolitana”.

Para la estación Las Condes, se descargaron los datos de concentración de los contaminantes  $\text{MP}_{2.5}$ ,  $\text{MP}_{10}$  y CO, y de velocidad y dirección de viento del período de verano de 2021-2022. En el caso de la estación Puente Alto, no existían datos disponibles de velocidad y dirección de viento para el período de verano de 2021-2022, por lo que se descargaron datos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano desde el 2011 hasta el 2016, con el fin de calcular los niveles promedio de los períodos de verano entre dichos años. Para la estación Cerrillos I, debido a que dicha estación no contaba con los registros de los contaminantes ni de las variables de viento para el período de verano de 2021-2022, se descargaron los datos de  $\text{MP}_{2.5}$ ,  $\text{MP}_{10}$ , CO y variables de viento de los períodos de verano desde el 2011 al 2016, para realizar un promedio histórico de 5 años para los contaminantes y variables del viento.

## **Ruido**

En el caso del ruido, se realizaron mediciones en vías altamente transitadas y parques, pertenecientes a las 3 comunas de estudio. Para medir el ruido ambiental se utilizó un sonómetro marca Cirrus, clase 2, modelo CR172A teniendo en consideración el procedimiento de evaluación dado por la Ley 1540 de Control de la contaminación acústica en Buenos Aires, que regula este tipo de contaminación y protege tanto a la salud de las personas como al medio ambiente (Legislatura de la ciudad autónoma de Buenos Aires, 2005). De acuerdo con este procedimiento, el sonómetro se instaló en un trípode a una distancia mayor o igual a 1,5 m de la fuente de ruido y a una altura aproximada a 1,2 m con respecto al nivel del piso. El sonómetro fue calibrado antes de realizar las mediciones de ruido y se utilizó con protector de viento en el micrófono para garantizar la reducción de los efectos del viento y movimiento del aire que pudiesen afectar en las mediciones de ruido. Las mediciones se realizaron utilizando la respuesta lenta del instrumento de medición y el filtro de ponderación de frecuencias "A".

En vías de tráfico vehicular y en parques, se realizaron sets de 7 mediciones de una duración de 5 minutos cada una, en un intervalo de 1 hora, específicamente de 10:00 a 11:00 en horario am y de 17:00 a 18:00 en horario pm en el caso de las mediciones en vías altamente transitadas. En el caso de las mediciones en parques, los sets también se conformaron por 7 mediciones de una duración de 5 minutos cada una en un intervalo de una hora, entre las 11:00 y las 12:00 durante la mañana, y entre las 18:00 y 19:00 durante la tarde. Dichos períodos de tiempo se escogieron utilizando el índice de tráfico de TomTom en la ciudad de Santiago, en donde los horarios mencionados anteriormente corresponden al peak de tráfico vehicular observado en las semanas de medición (TomTom, 2021). Cada set de mediciones se alternó un día de la semana por comuna, es decir, se midió un martes en Las Condes, un miércoles en Puente Alto y un jueves en

Maipú. Una vez definida la metodología de recolección de datos, se realizó la obtención de muestras durante las últimas 2 semanas del mes de enero de 2022, en el período de verano.

Considerando la alta variabilidad espacial que puede existir, y considerando que el ruido se mide de manera instantánea, al realizar las mediciones se utilizaron descriptores del ruido que permiten explicar y describir el comportamiento del ruido ambiental medido en cada lugar designado. En este caso, se utilizó como descriptor de ruido al nivel de presión sonora continuo equivalente ( $L_{eq}$ ) que corresponde al promedio energético del sonido en un período de tiempo en dB(A). Este descriptor permite comparar la energía sonora de dos ambientes sonoros distintos, considerando un periodo de igual longitud de tiempo. Además, se utilizaron los niveles de presión sonora máximos ( $L_{máx}$ ) y mínimos ( $L_{mín}$ ) que corresponden al máximo y mínimo nivel de presión sonora (NPS) registrado en cierto período de tiempo (Suárez & Cárdenas, 2018).

### **Validación y procesamiento de datos**

A continuación, se presentan los métodos de validación y de procesamiento de los datos que fueron recolectados para los contaminantes atmosféricos de interés de este estudio y el ruido, en base a la metodología descrita en el numeral anterior.

#### **MP<sub>2.5</sub>, MP<sub>10</sub> y CO**

Para validar los datos descargados desde la plataforma SINCA, se utilizaron distintos criterios dependiendo de cada contaminante o variable. Aquellos datos que no cumplieron los criterios establecidos fueron considerados como datos anómalos y tanto estos datos como las celdas vacías, fueron etiquetados como “NV” en la planilla de datos de Excel al momento de analizar los datos.

### **MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>10</sub>**

Para validar los datos de MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>10</sub>, se calculó el cociente entre el MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>10</sub>. Dado que el MP<sub>2.5</sub> es parte del MP<sub>10</sub>, la concentración de MP<sub>10</sub> deberá ser siempre mayor a la de MP<sub>2.5</sub> y por ende, esta proporción MP<sub>2.5</sub>/MP<sub>10</sub> deberá ser menor a 1, de lo contrario el dato se consideró como no válido, marcando el dato como “NV”.

### **CO**

Para validar los datos de monóxido de carbono, se eliminaron todos los valores negativos ya que al carecer de un sentido físico se consideran como valores anómalos. Estos datos fueron considerados como no válidos, se etiquetaron como “NV” y no formaron parte del análisis presentado.

### **Velocidad y dirección del viento**

Para validar los datos de velocidad del viento se etiquetaron como “NV” aquellos valores negativos, mientras que para validar los datos de dirección del viento se consideraron como “NV” aquellos valores negativos y aquellos que fueran mayores a 360°, ya que la dirección del viento varía desde los 0° hasta aquellos valores menores a 360°.

### **Análisis mediante software R**

La planilla de datos de concentración de contaminantes validados en Excel con formato “.csv” fue procesada en el software de programación R, mediante el uso del paquete Openair. Para analizar la variación en la concentración de MP<sub>2.5</sub>, MP<sub>10</sub> y CO se utilizó la

función “timeVariation” para evaluar la variación de los contaminantes en períodos de verano por hora durante el día y por horas en cada día de la semana. Adicionalmente, se utilizó la función “polarPlot” para visualizar la variación de niveles de concentración de los contaminantes según la velocidad y la dirección del viento. Para este análisis, se consideraron los siguientes casos dependiendo de la disponibilidad de datos de contaminantes y velocidad y dirección del viento que hubiese en cada estación asignada a cada una de las 3 comunas, priorizando el período de verano de 2021-2022, y en caso de que por disponibilidad de datos de la red SINCA no fuese posible, se consideró un promedio histórico de los períodos de verano desde 2011 a 2016. Para el caso de la estación Las Condes, se analizaron las concentraciones de  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO por velocidad y dirección del viento durante el período verano de 2021-2022. Para el análisis de la estación Puente Alto se utilizaron las concentraciones de los contaminantes  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO durante el período de verano de 2021-2022, y los promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano desde el 2011 hasta el 2016. Para el caso de la estación Cerrillos I se analizaron los promedios históricos de las concentraciones de los contaminantes  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO durante los períodos de verano desde el 2011 al 2016, y los promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano desde el 2011 al 2016. Para calcular los promedios históricos, tanto de contaminantes como de variables del viento, se promediaron los niveles horarios de cada verano, dependiendo según fuera el caso en cada comuna en base a lo señalado anteriormente.

## **Ruido**

En cada set de mediciones, se promediaron los valores (en dB(A)) de  $L_{eq}$ ,  $L_{min}$  y  $L_{m\acute{a}x}$  con el fin de obtener un valor representativo de cada parámetro acústico, en ambos períodos diurnos asociados a las mediciones, tanto en vías altamente transitadas como en parques. Posteriormente, se analizaron las características espectrales del ruido mediante el uso del software “Noisetools” de Cirrus, examinando las bandas de octava de cada medición de ruido. Adicionalmente, considerando que la unidad (dB) en la que se mide el ruido implica una relación en escala logarítmica, se optó por calcular la presión sonora cuadrática de todas las mediciones analizadas. Esta variable se obtiene de la ecuación que define el nivel de presión sonora (NPS), dada por la ecuación (1), que describe la relación logarítmica entre la presión sonora efectiva y la presión sonora de referencia, cuyo valor en el aire es de 20  $\mu$ Pa.

$$NPS = 10 \cdot \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \quad (1)$$

## **Análisis estadístico**

Se realizó una comparación entre las mediciones de ruido de intersecciones altamente transitadas entre distintas comunas, y por separado, otra comparación entre los parques entre distintas comunas, con el fin de estudiar posibles variaciones de ruido ambiental entre distintos tipos de lugares en comunas de la ciudad de Santiago.

Para evaluar las correlaciones entre las mediciones de ruido y contaminantes atmosféricos se utilizaron pruebas paramétricas y no paramétricas para las concentraciones de contaminantes presentes en el ambiente al momento de realizar las mediciones de ruido. De esta manera, para verificar si existen asociaciones o relaciones lineales entre las variables de ruido y contaminantes atmosféricos, se calcularon correlaciones de Pearson y Spearman utilizando el software de programación R, y para



evaluar tendencias entre ambos tipos de contaminantes, se consideraron los valores  $\rho$  de cada tipo de correlación y se estableció un valor  $p < 0,05$  para rechazar la hipótesis nula.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Niveles de ruido**

En esta sección se muestran los resultados de mediciones de ruido en los lugares escogidos, en las comunas de Las Condes Puente Alto y Maipú. En cada tabla se muestra el área de estudio, comuna, fecha, horario y promedio del Leq de las mediciones realizadas para cada set en dB(A). Cada medición en detalle se muestra en el numeral 1 del Anexo.

A continuación, en la Tabla 4 se presentan los resultados para fuentes de ruido de tráfico vehicular mientras que en la Tabla 5 se muestran los niveles de ruido presentes en los parques mencionados en el área de estudio (ver Tabla 1 en Metodología). Cabe señalar que al obtener los valores de ruido asociados a los lugares de medición en las tres comunas consideradas, se optó por calcular el promedio de la presión sonora cuadrática de cada set de mediciones de ruido, con el fin poder realizar una evaluación más completa al momento de evaluar posteriormente la relación entre el ruido y los contaminantes atmosféricos considerados en este estudio. De esta manera, se presentan los valores de presión sonora cuadrática asociados a los promedios de niveles de ruido de las mediciones realizadas en vías transitadas y en parques.

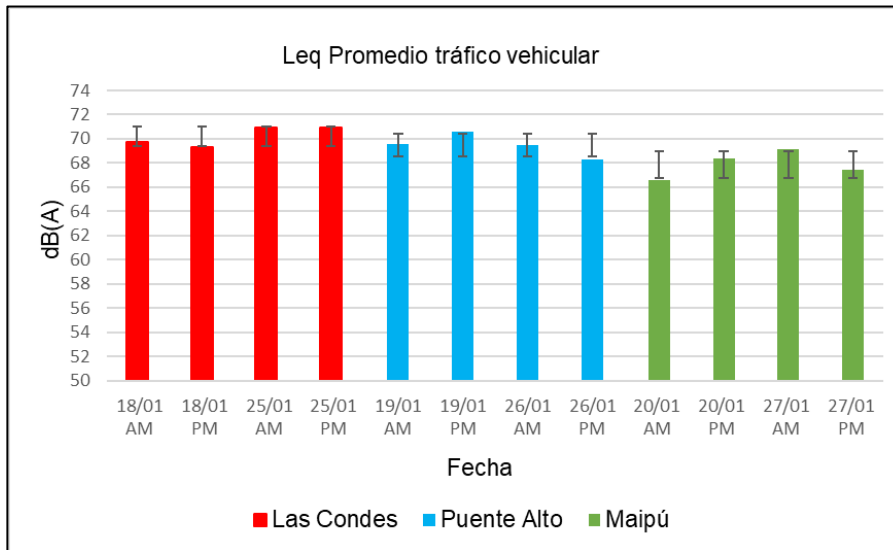
**Tabla 4:** Promedio de mediciones de ruido en vías altamente transitadas para las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.

<b>Tráfico Vehicular</b>					
<b>Comuna</b>	<b>Fecha</b>	<b>Horario</b>	<b>Promedio Leq (dB(A))</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Presión cuadrática media (mPa<sup>2</sup>)</b>
Las Condes	18-01-2022	10:00-11:00	69,7	2,92	4,87
		17:00-18:00	69,3	0,61	3,45
	25-01-2022	10:00-11:00	70,9	0,72	5,03
		17:00-18:00	70,9	1,51	5,28
Puente Alto	19-01-2022	10:00-11:00	69,6	1,05	3,76
		17:00-18:00	70,6	4,23	6,68
	26-01-2022	10:00-11:00	69,5	0,73	3,61
		17:00-18:00	68,3	1,81	2,90
Maipú	20-01-2022	10:00-11:00	66,6	0,51	1,85
		17:00-18:00	68,4	1,52	2,93
	27-01-2022	10:00-11:00	69,1	1,34	3,36
		17:00-18:00	67,4	0,93	2,24

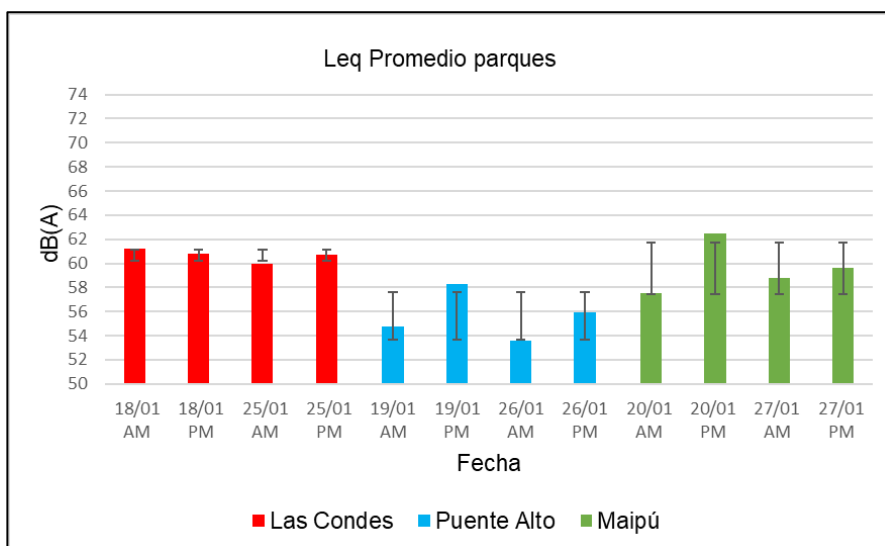
**Tabla 5:** Promedio de mediciones en parques para las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.

<b>Parque</b>					
<b>Comuna</b>	<b>Fecha</b>	<b>Horario</b>	<b>Promedio Leq (dB(A))</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Presión cuadrática media (mPa<sup>2</sup>)</b>
Las Condes	18-01-2022	11:00-12:00	61,2	1,36	0,557
		18:00-19:00	60,8	0,94	0,490
	25-01-2022	11:00-12:00	60	1,12	0,414
		18:00-19:00	60,7	0,75	0,480
Puente Alto	19-01-2022	11:00-12:00	54,8	2,05	0,138
		18:00-19:00	58,3	2,02	0,295
	26-01-2022	11:00-12:00	53,6	1,61	0,097
		18:00-19:00	55,9	1,7	0,164
Maipú	20-01-2022	11:00-12:00	57,5	0,6	0,226
		18:00-19:00	62,5	1,79	0,758
	27-01-2022	11:00-12:00	58,8	0,59	0,303
		18:00-19:00	59,6	1,04	0,376

A continuación, en la Figura 11 y 12 se presenta Leq promedio de las mediciones de ruido realizadas en las 3 comunas para tráfico vehicular y parques, respectivamente.



**Figura 11:** Leq Promedio en dB(A) de mediciones de tráfico vehicular en comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.



**Figura 12:** Leq Promedio en dB(A) de mediciones en parques en comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.

Al obtener los promedios de cada set de mediciones realizado y observar los resultados, es posible señalar que existen mayores niveles de ruido asociados a las mediciones realizadas en un entorno de tráfico vehicular que en los parques, principalmente debido al tipo de fuentes de ruido que predominan en cada área de estudio. Al comparar los niveles de ruido promedio de tráfico vehicular, no es posible identificar una tendencia clara entre niveles de ruido medidos en horario AM y PM en las 3 comunas de estudio, aunque cabe señalar que los menores niveles promedio de ruido obtenidos corresponden a la comuna de Maipú y los mayores a la comuna de Las Condes, fluctuando en promedio desde los 66,6 dB(A) y los 70,9 dB(A). En comparación a estándares de ruido diurnos que sugieren distintas organizaciones, dichos niveles son inaceptables de acuerdo con los estándares de la OCDE ya que los niveles obtenidos son mayores a 65 dB(A) (OECD, 1998). Por otra parte, la OMS considera un valor de 53 dB como límite por exposición al ruido por tráfico vehicular (WHO, 2018), por lo que los niveles obtenidos también superarían este umbral.

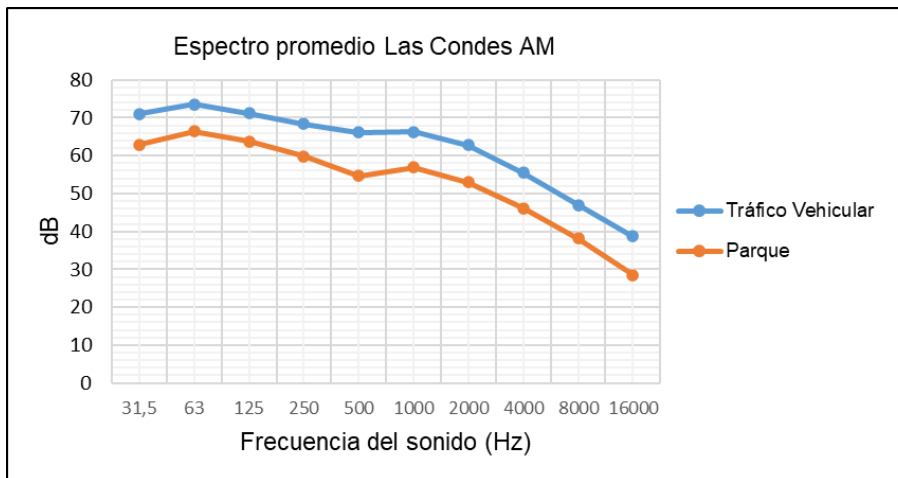
Para el caso de los niveles promedio de ruido en parques, se observa que los menores niveles de ruido que se midieron se asocian a la comuna de Puente Alto, específicamente en horarios AM. Se evidenció una tendencia similar para el caso de las mediciones de parque en Maipú. Por otra parte, los niveles de ruido de parque en la comuna de Las Condes tienden a ser mucho más homogéneos en comparación a las comunas de Puente Alto y Maipú, ya que hay una menor fluctuación entre los niveles promedio de ruido, tanto en horario AM como PM. En este caso, los niveles promedio de ruido medido en parques fluctuaron entre los 53,6 dB(A) y los 62,5 dB(A). En

comparación a los estándares de ruido mencionados anteriormente, los niveles medidos serían aceptables de acuerdo al estándar de la OCDE ya que no superan los 65 dB(A), pero serían superiores al límite de 53 dB que recomienda la OMS.

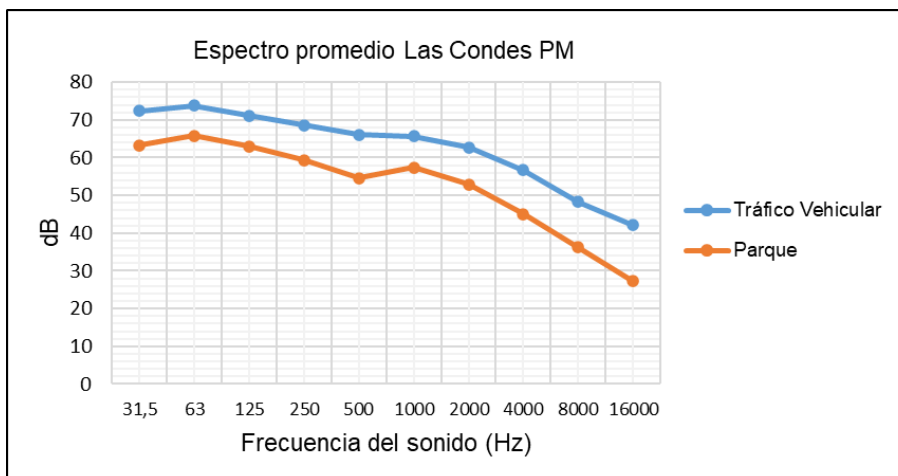
Al momento de realizar las mediciones de ruido en los distintos lugares, la percepción de los entornos fue distinta, según la circulación de las personas, el tráfico vehicular, los tipos de fuentes de ruido y los niveles percibidos. En ese sentido, no existió una variación significativa entre las fuentes de ruido caracterizadas en vías de flujo vehicular, aunque si existió una variación entre las fuentes de ruido caracterizadas en parques principalmente debido a que en la comuna de Las Condes se percibió un tránsito constante de vehículos livianos a baja velocidad, mientras que en el parque de la comuna de Puente Alto el tránsito vehicular fue ocasional y no constante. Para el caso del parque en la comuna de Maipú, se evidenció un mayor tráfico de vehículos pesados (buses) especialmente durante la tarde. Considerando lo anterior, pueden existir cambios en la percepción que tienen las personas sobre ciertos entornos dependiendo de los niveles de ruido propios de cada lugar. Estos cambios de percepción que pueden tener las personas en distintos lugares fue abordada en un estudio realizado por Palacios-García et al. (2020), en donde los niveles crecientes de ruido ambiental se asociaron a una mayor probabilidad de comunicar experiencias negativas en lugares que tienen un nivel económico medio y alto, mientras que la presencia de ruido ambiental en lugares de menores ingresos fue asociado a una experiencia urbana positiva. De esta manera, el aumento en los niveles de ruido en aquellos lugares que pertenezcan a comunas de menores ingresos podría asociarse a una mayor sensación de seguridad, ya que en estos casos se produciría una vigilancia pasiva (Palacios-García et al., 2020). Desde esta perspectiva, el ruido puede provocar distintas sensaciones o experiencias en las

personas, dependiendo del nivel de ingresos que exista en los lugares, por lo que existe una gran diferencia entre las experiencias que podrían experimentar las personas al vivir en comunas que presentan una importante brecha económica entre ellas, lo que los autores explican por la desigualdad salarial que existe en el país. Teniendo en cuenta lo anterior, Dreger et al. (2019) sugieren que ciertos indicadores como los valores de las viviendas o los ingresos de las personas estarían relacionados con una mayor exposición al ruido en casos que representen una posición socioeconómica más baja. Por ejemplo, personas que tengan una mejor situación socioeconómica podrían tener los recursos necesarios para pagar una vivienda en lugares más tranquilos. Teniendo en cuenta lo anterior, es probable que una combinación de mayor exposición, mayor vulnerabilidad y menos recursos económicos pueda reflejarse en impactos del ruido en la salud más pronunciados, especialmente en personas que tengan situaciones socioeconómicas más desfavorables (EC, 2016).

Posteriormente, para poder analizar las características espectrales de las mediciones realizadas, se analizaron las bandas de octava en las cuales se divide el espectro audible del ruido. A continuación, se presentan los niveles promedios del espectro de todas las mediciones de ruido, en horario AM y PM para las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú. Los niveles sonoros por bandas de frecuencia de cada medición se muestran en detalle en el numeral 2 del Anexo.

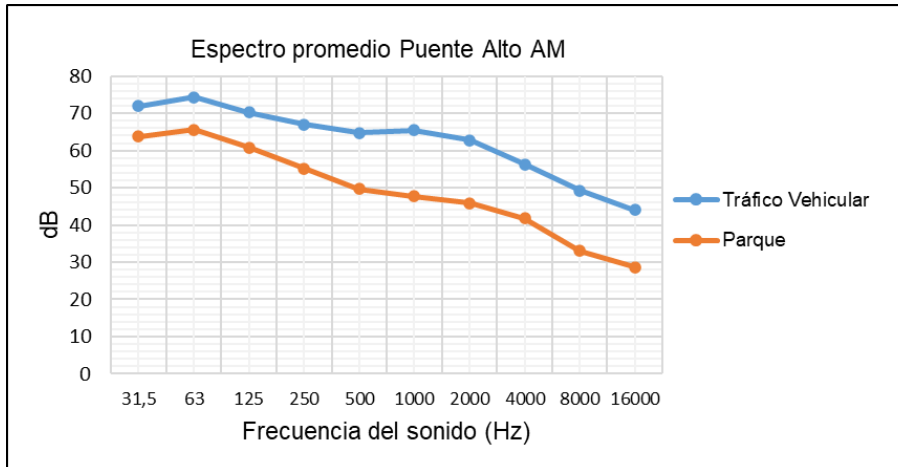


**Figura 13:** Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario AM, en la comuna de Las Condes.

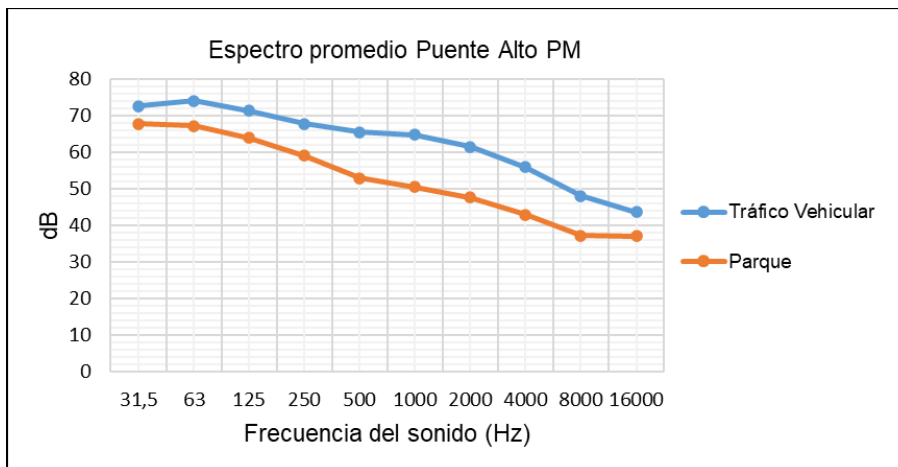




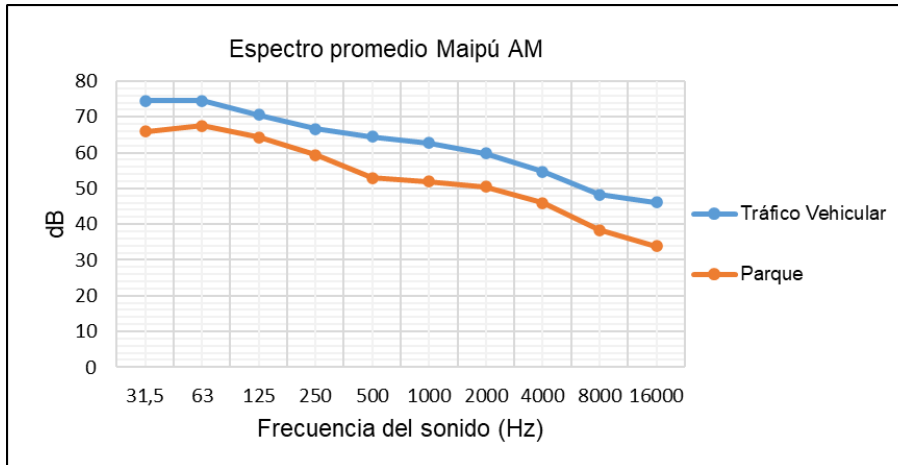
**Figura 14:** Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario PM, en la comuna de las Condes.



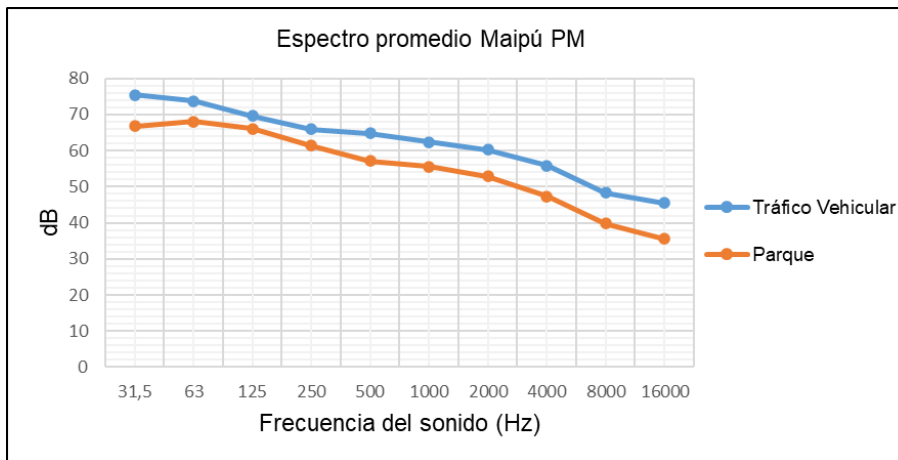
**Figura 15:** Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario AM, en la comuna de Puente Alto.



**Figura 16:** Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario PM, en la comuna de Puente Alto.



**Figura 17:** Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario AM, en la comuna de Maipú.

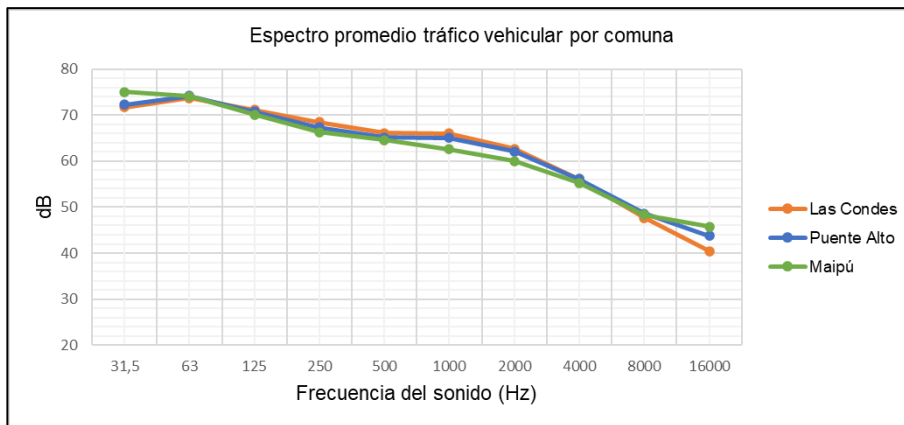


**Figura 18:** Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en horario PM, en la comuna de Maipú.

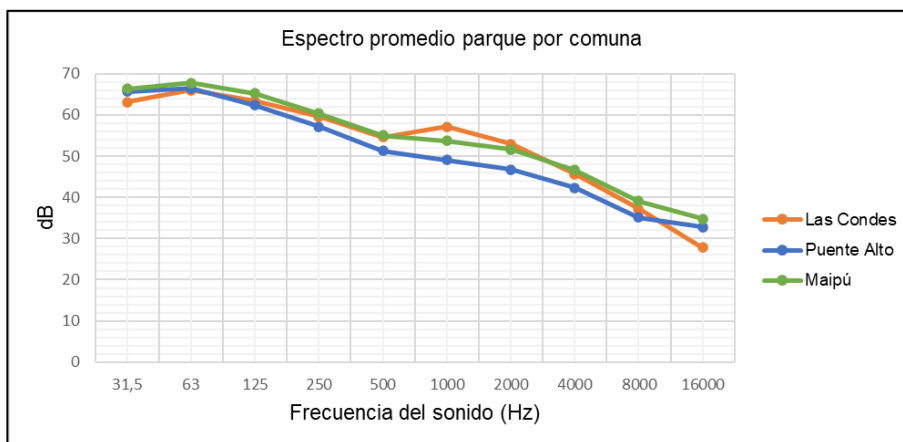
Con respecto a los niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido es posible señalar que tienden a producirse niveles mayores del espectro de ruido en vías de alto tráfico vehicular en comparación a los niveles del espectro que se producen en parques. Por otra parte, es posible señalar que tanto en vías de alto tráfico vehicular

como en parques, al analizar los niveles del espectro de las mediciones, los valores más altos de la intensidad del ruido se produjeron en frecuencias de 31,5 y 63 Hz, mientras que los valores más bajos de la intensidad del ruido se dieron a frecuencias de 8 y 16 kHz. Cabe señalar que para el caso de las 3 comunas de estudio se observa en general que la intensidad de los sonidos que se midieron fue disminuyendo gradualmente desde los 31,5 Hz hasta obtener los niveles más bajos a frecuencias de 16 kHz.

A continuación, se presenta el promedio de los niveles de ruido del espectro para las 3 comunas en entornos con ruidos de tráfico vehicular y en parques.



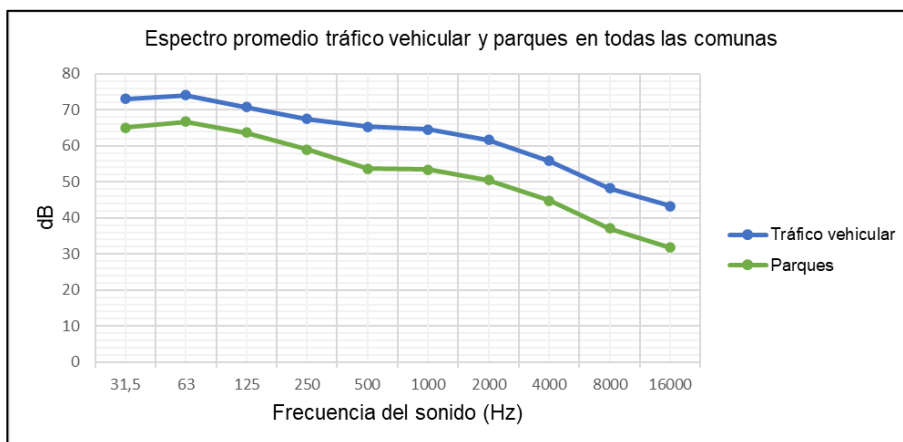
**Figura 19:** Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido de flujo vehicular por comuna.



**Figura 20:** Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido en parques por comuna.

Al respecto, se observa una tendencia muy similar para el caso del espectro promedio del ruido de flujo vehicular para las 3 comunas de estudio. Para el caso del espectro promedio de ruido en parques, se aprecia que las curvas están levemente más separadas entre sí, específicamente en el rango entre los 500 y 1.000 Hz, en donde el mayor nivel de ruido asociado a esta frecuencia se produjo en las mediciones realizadas en Las Condes y el menor en las mediciones realizadas en Puente Alto. Entre ambos gráficos, es posible señalar que las curvas del espectro de mediciones de ruido de tráfico vehicular son mayores ya que se presentan mayores niveles de ruido en las mediciones de tráfico vehicular.

A continuación, se presenta el espectro promedio de todas las mediciones de ruido de tráfico vehicular y parques, realizadas tanto en horario AM como PM en todas las comunas.



**Figura 21:** Niveles promedio del espectro de todas las mediciones de ruido de tráfico vehicular y parques, en las 3 comunas de estudio.

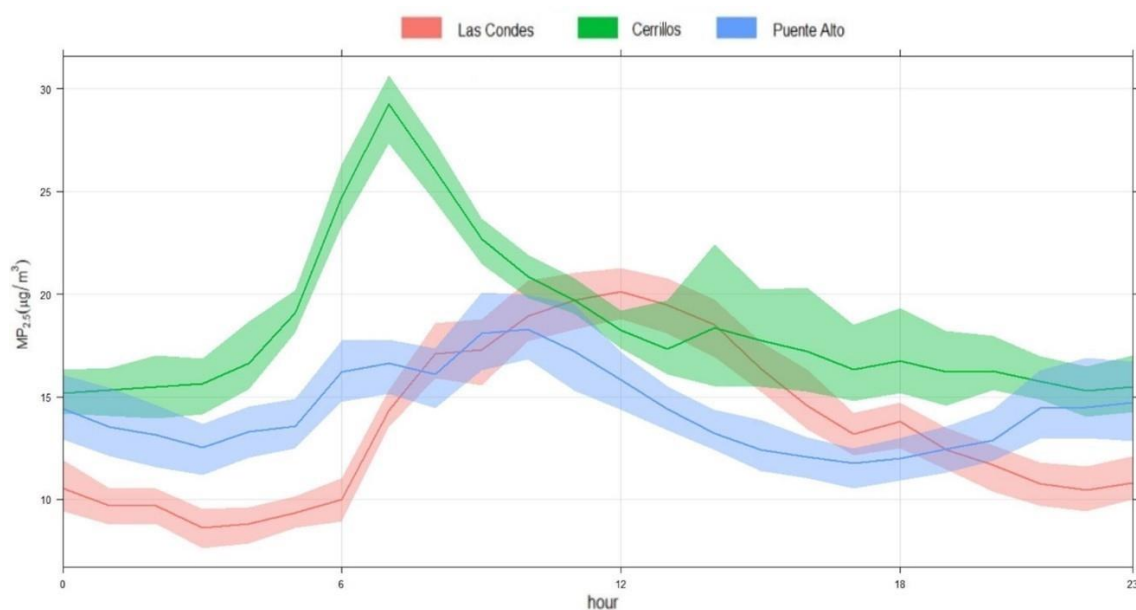
Al comparar ambas curvas se observa una disminución más notoria en los niveles del espectro asociados a parques, en torno a los 500 Hz, lo cual podría ocasionarse porque existe un menor tránsito vehicular en parques. Por otro lado, es posible afirmar que en las mediciones realizadas en lugares de alto tráfico vehicular los niveles del espectro variaron en promedio desde los 43,3 dB asociados a frecuencias de 16 kHz hasta un máximo de 74 dB asociados a la frecuencia de los 63 Hz. Para las mediciones realizadas en parques los niveles del espectro variaron en promedio desde los 31,8 dB asociados a frecuencias de 16 kHz hasta un máximo de 66,8 dB asociados a la frecuencia de los 63 Hz.

Si bien no es posible atribuir los niveles asociados a frecuencias bajas a una única fuente en específico debido a que el ruido ambiental en las áreas de estudio se produjo por muchas fuentes simultáneas de ruido, es importante mencionar que el ruido asociado a frecuencias bajas tiene relación con una serie de efectos en la salud humana. En este caso, en todas las mediciones se observa la preponderancia de los niveles de ruido a bajas frecuencias, las cuales están particularmente asociadas a efectos negativos en la

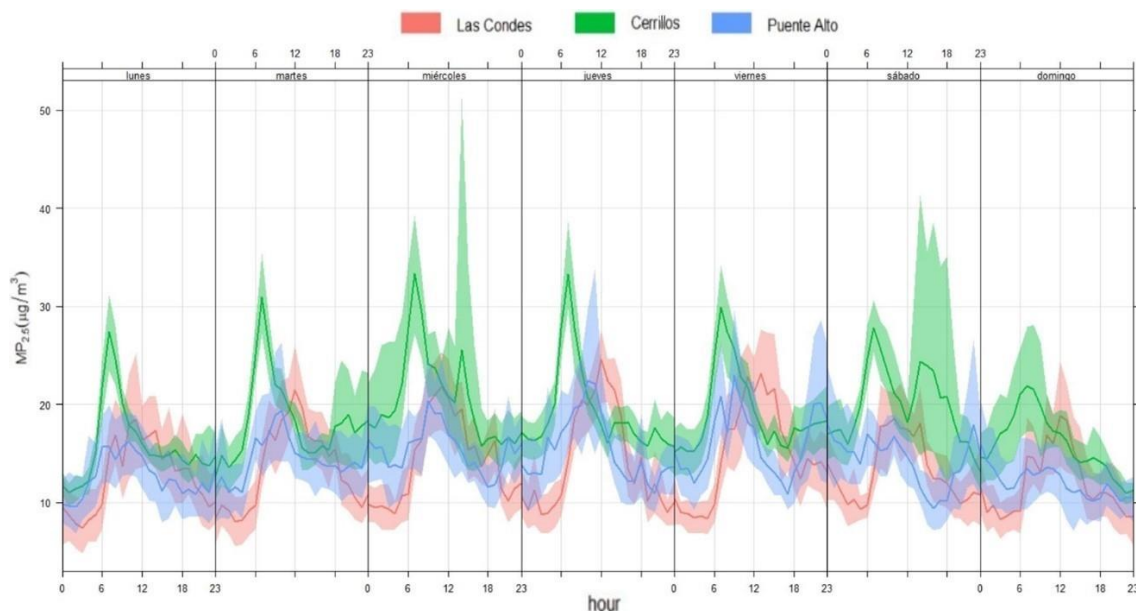
variación del ritmo cardiaco de las personas y podría ser perjudicial, en especial para las personas que padezcan enfermedades cardiacas (Walker et al., 2016).

### **Análisis MP<sub>2.5</sub>, MP<sub>10</sub> y CO**

A continuación, se presentan la variación de las concentraciones de MP<sub>2.5</sub>, MP<sub>10</sub> y CO en el período de verano 2021-2022 para las comunas del caso de estudio. En las figuras 22 y 23 se muestra la variación temporal de las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> para las 3 comunas de estudio durante las horas del día y durante los días de la semana, respectivamente.



**Figura 22:** Variación temporal de las concentraciones de MP<sub>2.5</sub> por hora, durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos.



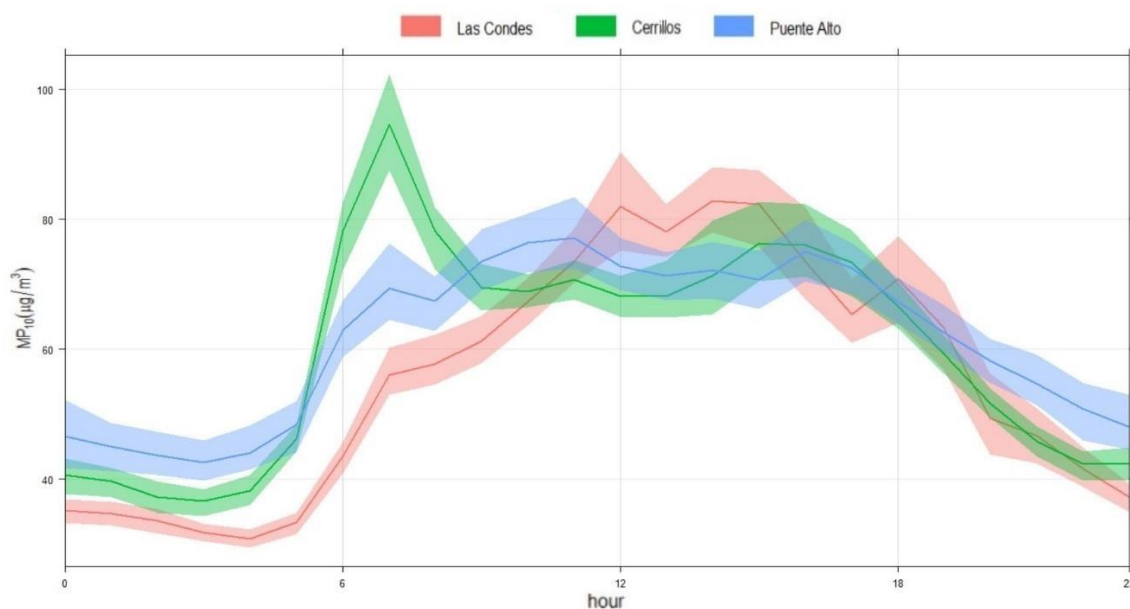
**Figura 23:** Variación temporal de las concentraciones de  $MP_{2.5}$  por hora y día de la semana durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos.

En base a estas figuras se observan máximos de concentraciones de  $MP_{2.5}$  en mayor parte en horario AM. Específicamente para la comuna de Cerrillos, se observa un menor número de máximos durante el día mientras que en la comuna de Las Condes, tienden a producirse un mayor número de máximos en comparación a las otras dos comunas. Si bien el número de máximos en Cerrillos es menor, estos máximos tienen una menor duración en comparación a las otras dos comunas .

En cuanto al horario de los máximos, en Las Condes y Cerrillos estos tienden a disminuir o mantenerse constantes después de mediodía, no así en el caso particular de la comuna de Puente Alto, ya que las concentraciones de  $MP_{2.5}$  tienden a aumentar ligeramente a media noche durante algunos días de la semana. Cabe señalar que las

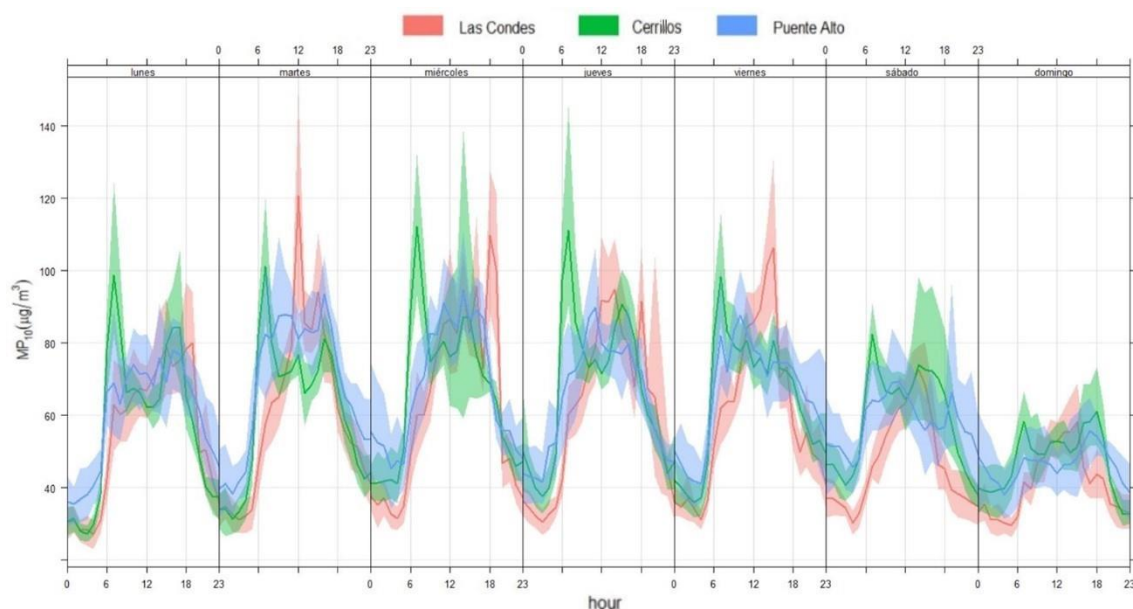
concentraciones de  $MP_{2.5}$  tienden a disminuir los fines de semana en comparación a los días hábiles, en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos.

A continuación, en las Figuras 24 y 25 se muestra la variación temporal de las concentraciones de  $MP_{10}$  para las 3 comunas de estudio durante las horas del día y durante los días de la semana, respectivamente.



**Figura 24:** Variación temporal de las concentraciones de  $MP_{10}$  por hora, durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos.

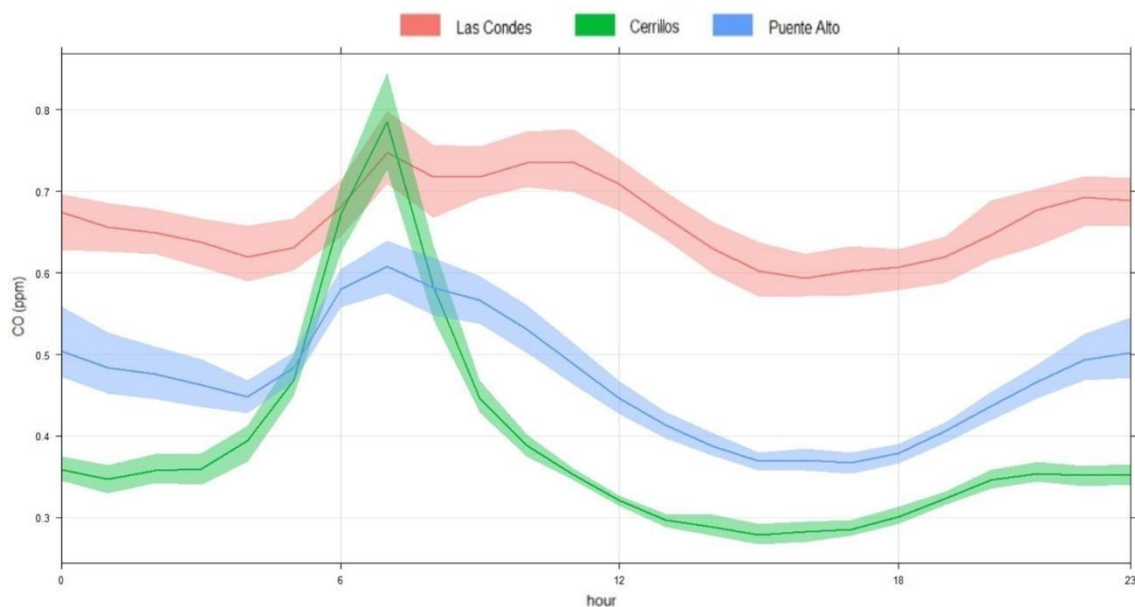




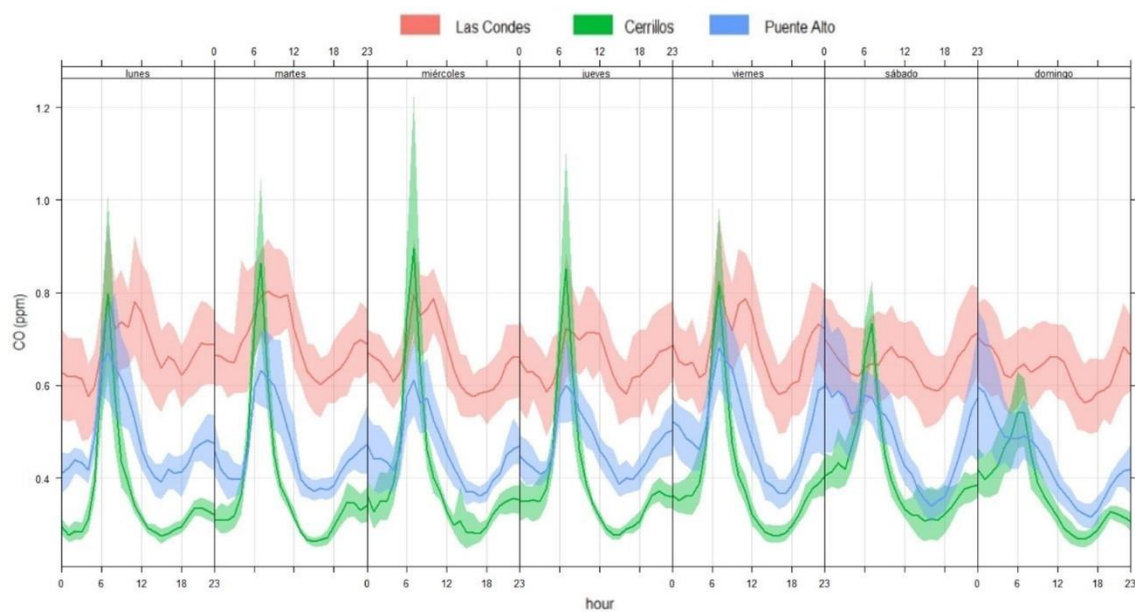
**Figura 25:** Variación temporal de las concentraciones de  $MP_{10}$  por hora y día de la semana durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos.

Al respecto, es posible señalar que en el caso de Cerrillos se observa un máximo en horario AM, específicamente entre las 7:00 y 8:00 AM, mientras que para el caso de la comuna de Las Condes se producen hasta 3 máximos de concentración de  $MP_{10}$ , de los cuales uno tiende a producirse a mediodía y los otros dos en horario PM. La tendencia del  $MP_{10}$  que se produce en los fines de semana es bastante similar a la tendencia identificada para el  $MP_{2.5}$ , ya que en general se observa una disminución mucho más notoria en las concentraciones durante el fin de semana para Las Condes, Puente Alto y Cerrillos.

A continuación, en las Figuras 26 y 27 se muestra la variación temporal de las concentraciones de CO para las 3 comunas de estudio durante las horas del día y durante los días de la semana, respectivamente.



**Figura 26:** Variación temporal de las concentraciones de CO por horas, durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos.



**Figura 27:** Variación temporal por hora y día de la semana de las concentraciones de CO durante el período verano en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos.

En este caso es posible observar que se producen máximos de concentraciones de CO en horario AM para el caso de las 3 comunas de estudio. Al comparar las concentraciones de CO de cada comuna de estudio es posible afirmar que los máximos de Las Condes tienden a mantenerse a concentraciones superiores a los máximos que se producen en las comunas de Puente Alto y Cerrillos. Adicionalmente, el comportamiento de los máximos entre las comunas de Las Condes y Puente Alto tiende a ser similar, aunque las concentraciones de CO que se muestran en Las Condes tienden a ser superiores a las que se produjeron en Puente Alto. Por otro lado, cabe señalar que el máximo que se produce en la comuna de Cerrillos es diferente al de Las Condes y Puente Alto, ya que a pesar de que las concentraciones tienden a estar por debajo de las concentraciones de Las Condes y Puente Alto, el máximo que se observa en la comuna de Cerrillos es mucho más pronunciado y tiende a disminuir antes que en las otras 2 comunas. Con respecto a las variaciones que se producen durante los días de una semana en la Figura 27, es posible señalar que, para las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos los máximos de concentraciones de CO durante la mañana tienden a disminuir en los fines de semana en comparación a los máximos que se producen entre los días lunes y viernes. En ese sentido, esta última tendencia se observó en las tres comunas de estudio, en los tres contaminantes analizados.

A modo de comparación, Munizaga y Palma (2012) presentaron una metodología para estimar una matriz de transporte origen-destino en Santiago, utilizando los datos de transacciones de la tarjeta Bip! e indicando que en promedio, durante los días hábiles de la semana el 60 % de las transacciones ocurren en buses, un 33% en estaciones del Metro y un 7% en los paraderos de buses. En la distribución de las transacciones que se producen al abordar el transporte, los autores afirmaron que en los días hábiles de la

semana se produjo un máximo de transacciones alrededor de las 8:00 AM para las tarjetas Bip! corrientes mientras que se produjo otro alrededor de las 7:30 AM asociado al uso del pase escolar, mientras que en la tarde se observó un comportamiento similar produciéndose un máximo a las 18:30 para tarjetas Bip! regulares y otro a las 18:00 para los pases escolares. Otro máximo se identificó alrededor de las 13:00-14:00 PM. Por otro lado, en días sábados y domingos, observaron que los máximos tienden a disminuir y específicamente los días sábados ocurrió que las transacciones se daban a tempranas horas y luego se producía un máximo alrededor de mediodía hasta que comienza a disminuir nuevamente durante la tarde. En el caso del día domingo no se produjo un máximo de transacciones en la mañana, aunque en este día la cantidad de transacciones aumentaba a medida que se hacía de tarde.

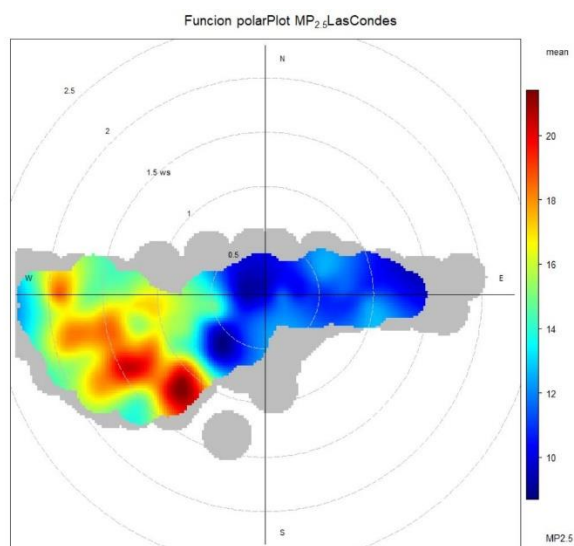
En ese sentido, comparando los resultados de Munizaga y Palma (2012) con el análisis de contaminantes de este estudio, es posible señalar que en promedio ocurrió un máximo entre las 7:00 y 8:00 AM para el caso de los 3 contaminantes en las 3 comunas, con excepción de los niveles de  $MP_{2.5}$  en Las Condes. De esta manera, los máximos en donde aumenta la concentración de los contaminantes se producen en horarios AM similares a los horarios en donde existen máximos de transacciones de la tarjeta Bip! asociadas al uso de buses y metro. En cuanto a los máximos a mediodía, sólo se observan en el caso de la comuna de Las Condes, específicamente para los contaminantes  $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$ . Durante la tarde, alrededor de las 18:00 PM se producen máximos de menor intensidad para el caso del  $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$  en la comuna de Las Condes, los cuales se presentan en un horario similar al máximo de transacciones de la tarjeta Bip! que ocurre alrededor de las 18:00 PM. Si bien no es posible afirmar que la causa de estos máximos de concentraciones de contaminantes se atribuya únicamente

al uso del transporte público, el alto uso del transporte en ciertos horarios específicos puede ser uno de los factores que contribuyen al aumento en las concentraciones de contaminantes que ocurren en ciertos horarios específicos, tanto AM como PM.

Teniendo en cuenta lo anterior, en los resultados y validaciones de la encuesta origen-destino realizada en Santiago en el año 2012, se señala que de un total estimado de 18,5 millones de viajes en día laboral, 11,3 millones de los viajes (aproximadamente el 61% de los viajes que ocurren en un día laboral) corresponden a viajes motorizados, destacando que el mayor número de viajes se da durante la mañana alrededor de las 7:00-8:00 AM y en la tarde alrededor de las 18:00 PM, cuyos principales propósitos son por trabajo (Muñoz et al., 2015), horarios en los que se producen máximos según las variaciones de concentración de  $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$ .

Adicionalmente, Munizaga y Palma (2012) señalaron que según los datos GPS de las tarjetas Bip!, los máximos ocurrieron más temprano en lugares más periféricos en las comunas de Santiago que tienen un menor nivel socioeconómico, alrededor de las 6:00 AM. De esta manera, en la validación de los resultados de la encuesta origen destino realizada en Santiago se observa que el sector Oriente de Santiago, en donde se encuentra la comuna de Las Condes, concentra el mayor crecimiento de viajes con una tasa del 3,7% anual, lo cual permite establecer un panorama un poco más claro en cómo pueden influir los patrones de movilidad en cuanto a los viajes que se realizan diariamente en horario laboral en la ciudad de Santiago. Un factor importante por considerar es la condición socioeconómica que representa el sector oriente de Santiago en donde se incluye la comuna de Las Condes, ya que dicho sector representa ingresos considerablemente altos en comparación a los ingresos de otras comunas (CGR, 2016).

A continuación, se muestran gráficos de la función polarPlot aplicando el comando “min.bin=3” realizados en el software R para estudiar el transporte de contaminantes según el régimen de vientos que existe en las comunas de estudio. En el numeral 3 del Anexo se presentan los gráficos de la función polarPlot sin aplicar el análisis “min.bin”. En la figura 28 se presenta la función polarPlot con el comando “min.bin=3” para el contaminante  $MP_{2.5}$  junto con las variables de dirección y velocidad del viento de la comuna Las Condes.

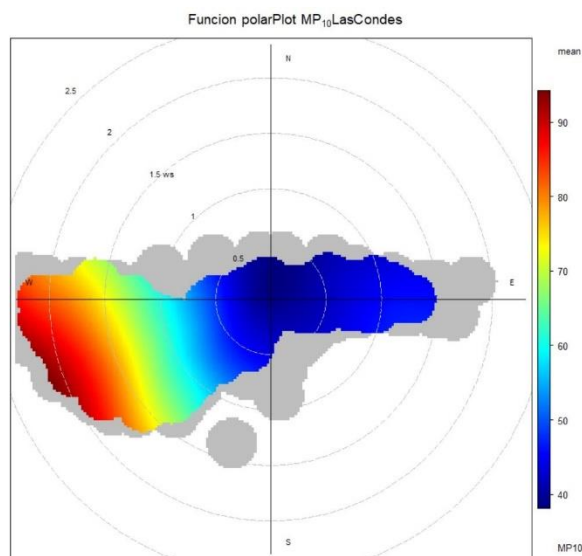


**Figura 28:** Concentraciones de  $MP_{2.5}$  por velocidad y dirección del viento durante el período verano de 2021-2022, aplicando comando “min.bin=3”.

En la figura 28 se aplicó el comando “min.bin=3” al análisis polarPlot, el cual exige un mayor número de datos para dar origen a un punto en el gráfico, otorgando así una visualización más robusta del gráfico obtenido, desde el punto de vista estadístico. De esta manera, se confirma que tienden a producirse altas concentraciones de  $MP_{2.5}$  cuando el viento sopla a bajas velocidades desde la dirección suroeste y bajas

concentraciones de  $MP_{2.5}$  cuando el viento sopla a bajas velocidades desde la dirección este.

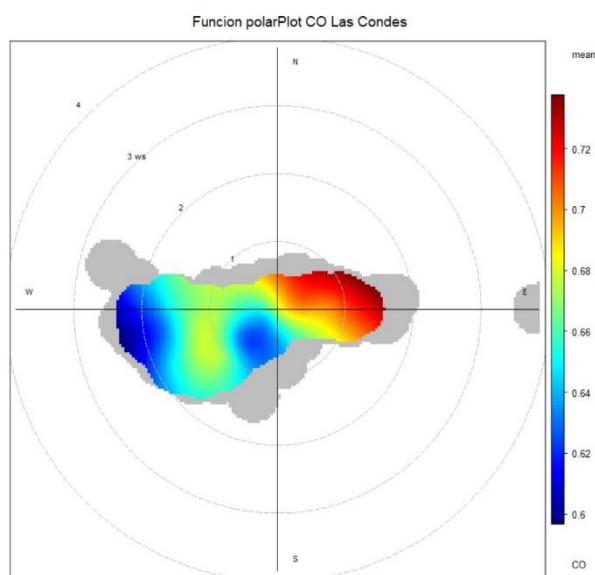
Por otra parte, en la figura 29 se presenta la función polarPlot para  $MP_{10}$  en el período de verano entre los años 2021-2022, en la comuna de Las Condes.



**Figura 29:** Concentraciones de  $MP_{10}$  por velocidad y dirección del viento durante el período verano de 2021-2022, aplicando comando “min.bin=3”.

En este caso, al aplicar el comando “min.bin=3” se observa que en el período de verano analizado en la comuna de Las Condes, existe un comportamiento similar al caso del  $MP_{2.5}$  ya que se producen altas concentraciones de  $MP_{10}$  cuando el viento sopla a bajas velocidades desde la dirección suroeste, con más énfasis desde la dirección oeste y bajas concentraciones de  $MP_{10}$  cuando el viento sopla a bajas velocidades desde la dirección este.

A continuación, en la figura 30 se presenta la función polarPlot para el CO en el período de verano, en la comuna de Las Condes.



**Figura 30:** Concentraciones de CO por velocidad y dirección del viento durante el período verano de 2021-2022, aplicando comando “min.bin=3”.

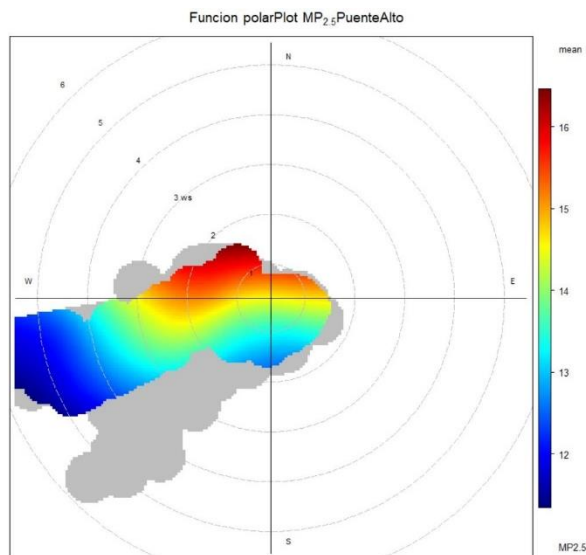
En dicha figura se observa una variación con respecto al gráficos anteriores de  $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$ , ya que al aplicar el comando “min.bin=3” en este caso se producen máximos de monóxido de carbono cuando el viento sopla a velocidades mucho más bajas desde la dirección este, descartado una componente de transporte de CO en la comuna de Las Condes, ya que cuando el viento sopla a muy bajas velocidades desde el este, se producen máximos de concentración de monóxido de carbono.

Por otra parte, el análisis mediante la función polarPlot de la comuna de Puente Alto consideró las concentraciones de los contaminantes  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO durante el período de verano de 2021-2022, y los promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano desde el 2011 hasta el 2016.

De esta manera, en la Figura 31 se presenta la función polarPlot con el comando “min.bin=3” para las concentraciones de  $MP_{2.5}$  durante el período de verano de 2021-



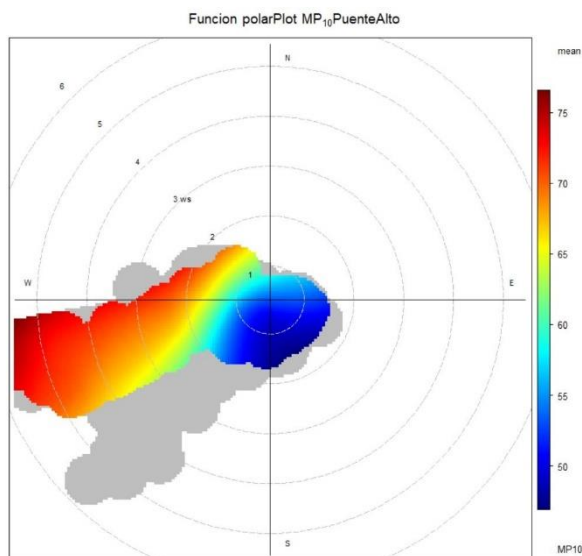
2022 con los promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano desde el 2011 hasta el 2016, en la comuna de Puente Alto.



**Figura 31:** Concentraciones de  $MP_{2.5}$  del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016 en la comuna de Puente Alto, aplicando comando “min.bin=3”.

En el análisis realizado en la figura 31 se observa mediante el comando “min.bin=3” que los máximos de  $MP_{2.5}$  se producen cuando el viento sopla a bajas velocidades, desde la dirección noroeste.

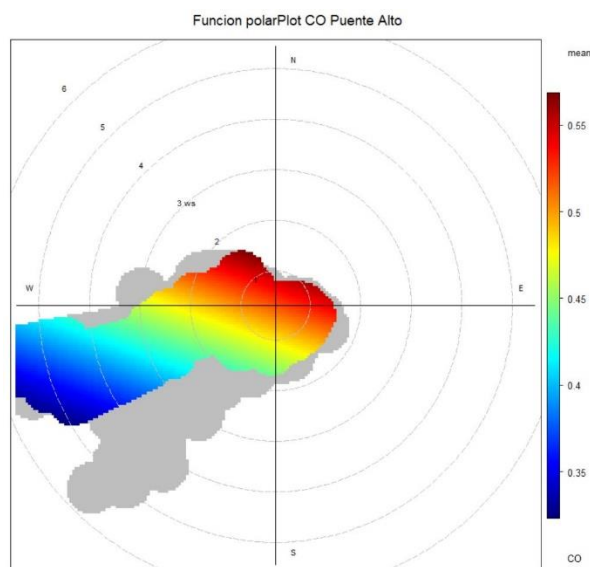
A continuación, en la figura 32 se presenta la función polarPlot “min.bin=3” para el  $MP_{10}$  durante el período de verano de 2021-2022 con los promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano desde el 2011 hasta el 2016.



**Figura 32:** Concentraciones de  $MP_{10}$  del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016 en la comuna de Puente Alto, aplicando comando “min.bin=3”.

En el análisis de este caso se observa que los máximos de  $MP_{10}$  se producen cuando el viento sopla a velocidades un poco más altas (desde 2 hasta 6 m/s) desde las direcciones del suroeste con más predominancia desde el oeste mientras que se observan menores concentraciones para este contaminante a velocidades de viento menores a 2 m/s.

A continuación, en la Figura 33 se presenta la función polarPlot “min.bin=3” para el CO durante el período de verano de 2021-2022 con los promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano desde el 2011 hasta el 2016.

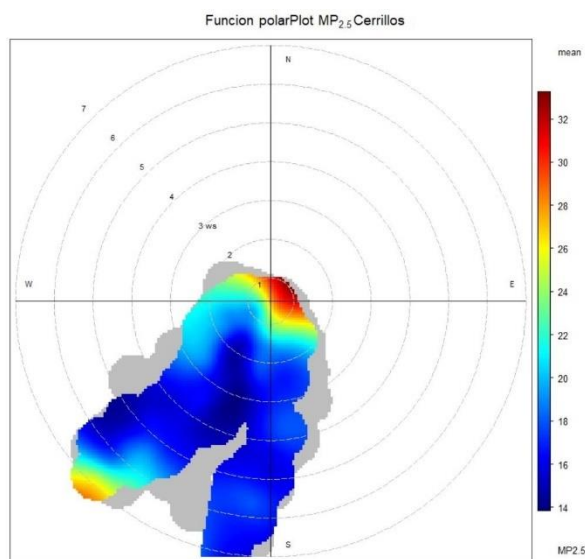


**Figura 33:** Concentraciones de CO del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016 en la comuna de Puente Alto, aplicando comando “min.bin=3”.

En el análisis de este caso se producen máximos de concentración de monóxido de carbono cuando el viento sopla a bajas velocidades de viento (<2 m/s) principalmente desde las direcciones noroeste, noreste y este. Lo anterior sugiere que estas emisiones tienen un carácter local en comparación a los resultados de  $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$  para esta comuna.

Por otro lado, el análisis mediante la función polarPlot de la estación perteneciente a Cerrillos consideró los promedios históricos de las concentraciones de los contaminantes  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO durante los períodos de verano desde el 2011 al 2016, y los promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano desde el 2011 al 2016.

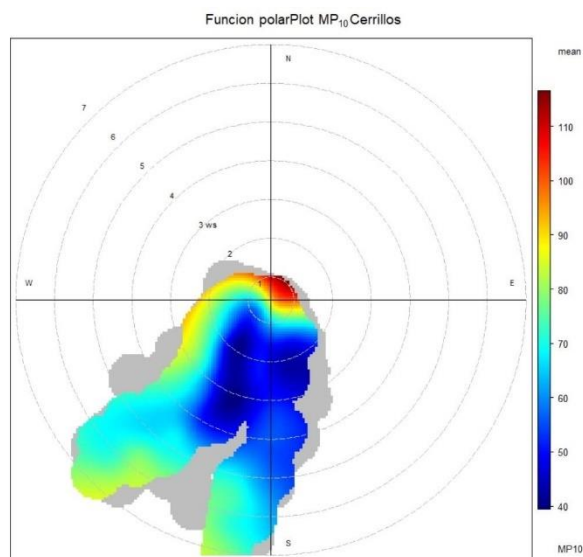
De esta manera, en la Figura 34 se presenta la función polarPlot “min.bin=3” para las concentraciones promedio históricas de  $MP_{2.5}$  durante los períodos de verano entre 2011 y 2016 con los promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano de los mismos años, en la estación Cerrillos.



**Figura 34:** Concentraciones promedio históricas de  $MP_{2.5}$  del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I, aplicando comando “min.bin=3”.

En el análisis realizado en este caso se observa que los máximos de  $MP_{2.5}$  se producen a velocidades de viento inferiores a 1 m/s cuando provienen desde el noreste. Además se observa un aumento de concentraciones cuando el viento sopla con velocidades  $>6$  m/s desde el suroeste pero a la vez se producen bajas concentraciones cuando el viento sopla a esta misma velocidad desde la componente sur, por lo que no se produce una tendencia clara cuando el viento sopla con velocidades mayores.

A continuación se presenta la función polarPlot para las concentraciones promedio históricas de  $MP_{10}$  durante los períodos de verano entre 2011 y 2016 con los promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano de los mismos años, en la estación Cerrillos I.

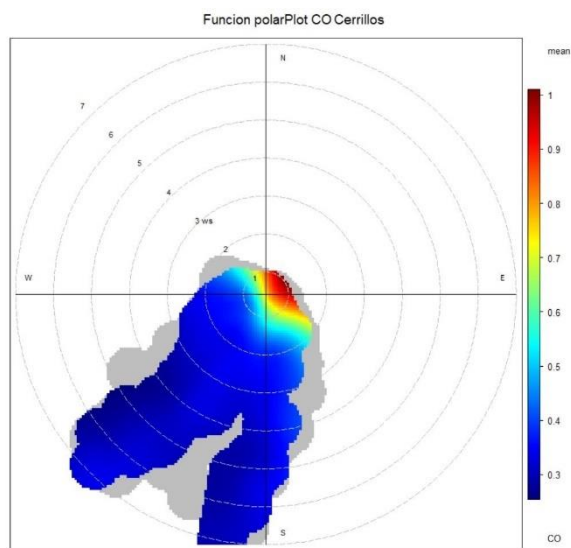


**Figura 35:** Concentraciones promedio históricas de  $MP_{10}$  del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I, aplicando comando “min.bin=3”.

Al aplicar el comando “min.bin=3” en la Figura 35 se observa que en los períodos de verano analizados en la estación Cerrillos, se producen altas concentraciones de  $MP_{10}$  cuando el viento sopla a velocidades inferiores a 1 m/s desde la dirección noreste. En este caso, también las concentraciones tienden a aumentar levemente cuando el viento sopla a bajas velocidades desde la componente oeste.

En la siguiente figura, se presenta la función polarPlot para las concentraciones promedio históricas de CO durante los períodos de verano entre 2011 y 2016 con los

promedios históricos de dirección y velocidad del viento de los períodos de verano de los mismos años, en la estación Cerrillos I.



**Figura 36:** Concentraciones promedio históricas de CO del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I, aplicando comando “min.bin=3”.

Para el caso de las concentraciones de CO en los períodos de verano analizados se observa que se producen máximos de monóxido de carbono a velocidades de viento menores a 1 m/s, específicamente desde la componente noreste, lo cual es una tendencia similar a los casos analizados en la estación Cerrillos I.

A continuación, se presenta un resumen con las tendencias del análisis realizado para cada contaminante y comuna. De manera general, se observa que en todos los casos, los máximos identificados se producen a bajas velocidades de viento.

**Tabla 6:** Tendencias en el transporte de  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Cerrillos en los períodos de análisis.

Ubicación de Estación	Contaminante	Velocidad del viento durante máximos	Dirección del viento durante máximos
Las Condes	MP <sub>2.5</sub>	1 m/s – 2 m/s	suroeste
	MP <sub>10</sub>	1,5 m/s – 2,5 m/s	oeste y suroeste
	CO	<1,5 m/s	este
Puente Alto	MP <sub>2.5</sub>	1 m/s – 2 m/s	noroeste
	MP <sub>10</sub>	2 m/s - 6 m/s	suroeste-oeste
	CO	<2 m/s	noroeste-este
Cerrillos	MP <sub>2.5</sub>	<1 m/s	noreste
	MP <sub>10</sub>	<1 m/s	noreste
	CO	<1 m/s	noreste

En base a esta tabla, al comparar los datos de velocidad y dirección entre los mismos contaminantes en distintas comunas cabe mencionar que los datos analizados no demuestran tendencias claras en todos los casos. Para el caso del MP<sub>2.5</sub>, los máximos tienden a ocurrir a velocidades menores a 2 m/s en la comuna de Las Condes y Puente Alto, mientras que en Cerrillos tienden a ocurrir a velocidades menores a 1 m/s. Para el MP<sub>10</sub>, la componente oeste y suroeste es común para las comunas de Las Condes y Puente Alto, en donde se dan máximos de este contaminante a velocidades del viento un poco mayores en los casos de Puente Alto y Cerrillos. Finalmente, para el caso del monóxido de carbono ocurre que las mayores concentraciones de este contaminante se dan a velocidades muy bajas de viento en las 3 comunas. Las bajas velocidades de viento permiten señalar que en el caso del CO existe una componente local asociada a los máximos de este contaminante.

Por otra parte, también se debe considerar la baja ventilación que existe en la ciudad de Santiago. Esta condición se da producto de las condiciones topográficas de la ciudad, ya que Santiago se encuentra en una cuenca rodeada por la Cordillera de Los Andes al sector oriente y por la Cordillera de la Costa del Pacífico Sur al sector poniente. De esta manera, Huneus et al., (2020) señalan en el Informe a las Naciones titulado como “El

aire que respiramos: pasado presente y futuro”, que el deterioro en la calidad del aire se da producto de una serie de condiciones, que en algunos casos son factores comunes en algunas ciudades de la zona centro y de la zona sur del país. Estas condiciones ocurren por un confinamiento de la capa de mezcla superficial que es en donde se concentran los contaminantes emitidos en la superficie y por ende donde se percibe un efecto directo de dichos contaminantes. También ocurre por un fenómeno de enfriamiento que ocurre durante la noche y la madrugada, que se da a un nivel cercano a la superficie, y además por un incremento en la temperatura que tiende a ocurrir por sobre el nivel de la capa de mezcla. Estos dos últimos factores hacen que la mezcla vertical de contaminantes sea limitada debido a la estabilidad atmosférica que generan estas variaciones de temperatura (Huneus et al., 2020).

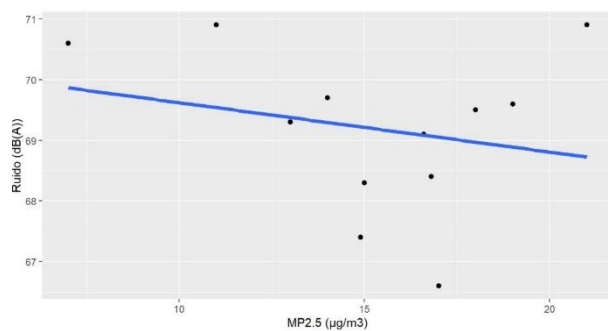


### Correlaciones entre MP<sub>2.5</sub>, MP<sub>10</sub>, CO y Ruido

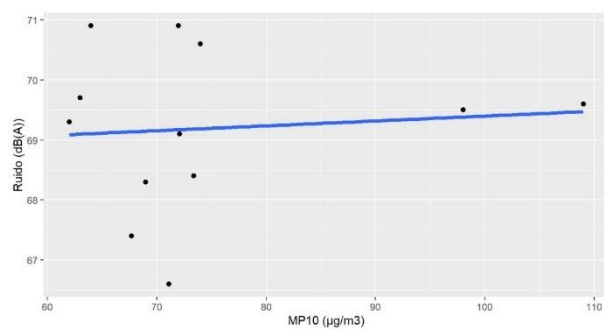
De esta manera, al obtener los niveles de ruido y los datos de contaminantes recopilados de cada estación, se procedió a evaluar correlaciones entre las concentraciones horarias de MP<sub>2.5</sub>, MP<sub>10</sub>, CO en los mismos períodos de tiempo de la toma de muestras de ruido. En las siguientes tablas se presentan los niveles de contaminantes atmosféricos y ruido en donde se evaluaron correlaciones de Pearson y Spearman en intersecciones de alto flujo vehicular y en parques, en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.

**Tabla 7:** Promedios horarios de ruido en vías de alto tránsito vehicular, MP<sub>2.5</sub>, MP<sub>10</sub> y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.

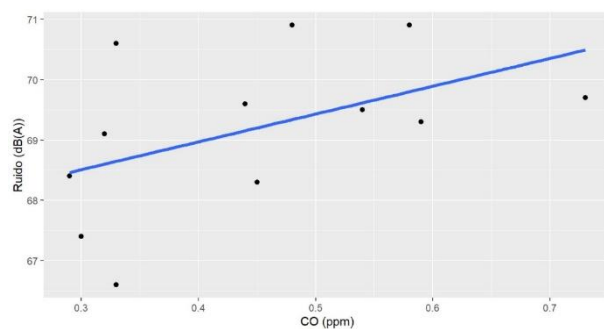
Comuna	Ruido (dB(A))	MP <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)
Las Condes	69.7	14	63	0.73
	69.3	13	62	0.59
	70.9	21	72	0.58
	70.9	11	64	0.48
Puente Alto	69.6	19	109	0.44
	70.6	7	74	0.33
	69.5	18	98	0.54
	68.3	15	69	0.45
Maipú	66.6	17	71.1	0.33
	68.4	16.8	73.4	0.29
	69.1	16.6	72.1	0.32
	67.4	14.9	67.7	0.30



**Figura 37:** Dispersión de datos de Ruido y  $MP_{2.5}$  en vías de alto tránsito vehicular.



**Figura 38:** Dispersión de datos de Ruido y  $MP_{10}$  en vías de alto tránsito vehicular.



**Figura 39:** Dispersión de datos de Ruido y CO en vías de alto tránsito vehicular.

**Tabla 8:** Correlaciones de Pearson y Spearman entre contaminantes y su significancia.

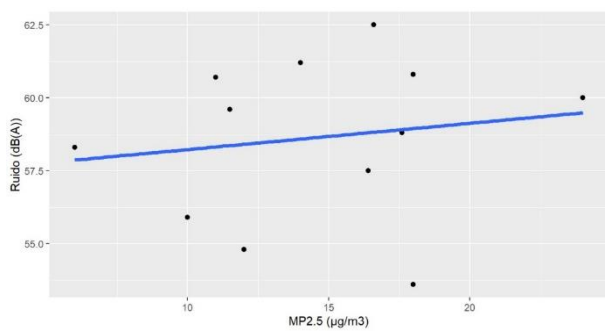
Tipo de Correlación	Ruido y $MP_{2.5}$		Ruido y $MP_{10}$		Ruido y CO	
	r	valor p	r	valor p	r	valor p
Pearson (n=12)	-0.22	0.477>0.05	0.086	0.789>0.05	0.48	0.110>0.05
Spearman (n=12)	-0.14	0.66>0.05	0.007	0.828>0.05	0.56	0.063>0.05

Con respecto a la Tabla 8 es posible señalar que no se observan correlaciones significativas para los primeros dos casos, ya que si bien los valores de la correlación negativa del ruido y  $MP_{2.5}$  son mínimos, ambos niveles de significancia son mucho mayores que 0,05. Para el caso del ruido y el CO se observan valores de  $r$  de 0,48 para la correlación de Pearson y de 0,56 para la correlación de Spearman. Estos valores presentan una correlación del tipo positiva y moderada entre ambos contaminantes, sin embargo, no es de carácter significativa ya que los valores  $p$  son mayores a 0,05 en ambos casos.

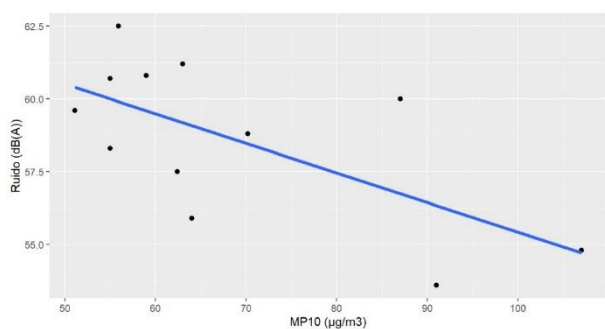
A continuación, se presentan los niveles de ruido en parques en las tres comunas de estudio, y luego se presentan las correlaciones entre las concentraciones de contaminantes y los niveles de ruido.

**Tabla 9:** Promedios horarios de ruido en parques,  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.

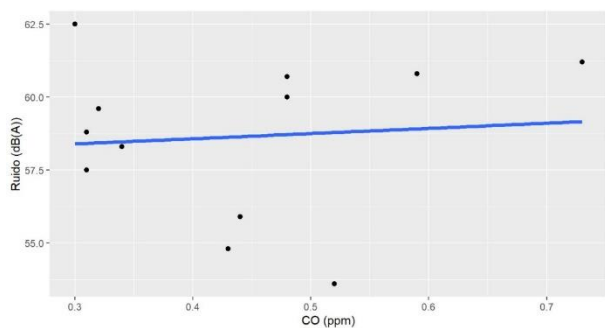
Comuna	Ruido (dB(A))	$MP_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$MP_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CO (ppm)
Las Condes	61.2	14	63	0.73
	60.8	18	59	0.59
	60	24	87	0.48
	60.7	11	55	0.48
Puente Alto	54.8	12	107	0.43
	58.3	6	55	0.34
	53.6	18	91	0.52
	55.9	10	64	0.44
Maipú	57.5	16.4	62.4	0.31
	62.5	16.6	55.9	0.30
	58.8	17.6	70.2	0.31
	59.6	11.5	51.1	0.32



**Figura 40:** Dispersión de datos de Ruido y  $MP_{2.5}$  en parques.



**Figura 41:** Dispersión de datos de Ruido y  $MP_{10}$  en parques.



**Figura 42:** Dispersión de datos de Ruido y CO en parques.

**Tabla 10:** Correlaciones de Pearson y Spearman entre contaminantes y su significancia.

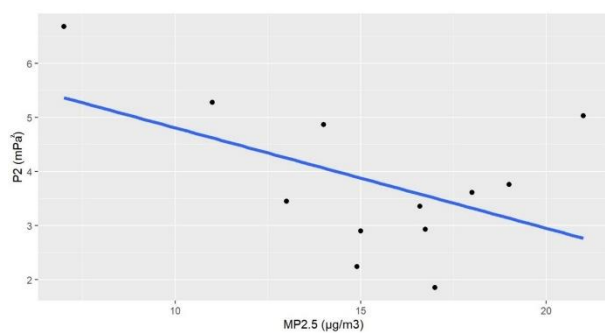
Tipo de Correlación	Ruido y $MP_{2.5}$		Ruido y $MP_{10}$		Ruido y CO	
	r	valor p	r	valor p	r	valor p
Pearson (n=12)	0.16	0.63>0.05	-0.65	0.023<0.05	0.086	0.79>0.05
Spearman (n=12)	0.17	0.59>0.05	-0.51	0.089>0.05	0.087	0.78>0.05

En base a la tabla 10, es posible señalar que para el caso del  $MP_{2.5}$  y ruido se observa un grado de correlación positiva mínima que no es significativa, considerando los valores de significancia en ambos casos. En este caso, entre el ruido y  $MP_{10}$  se produce una correlación de Pearson negativa moderada que es significativa con un valor  $p=0,023$  ( $<0,05$ ). Adicionalmente, se observa una correlación de Spearman negativa moderada, que no es significativa puesto que su valor  $p$  es de  $0,089$  ( $>0,05$ ). Por otra parte, no existen correlaciones entre los niveles de ruido y concentración de CO en parques ya que no existe una tendencia clara en la dispersión de los datos presentes en la figura 42.

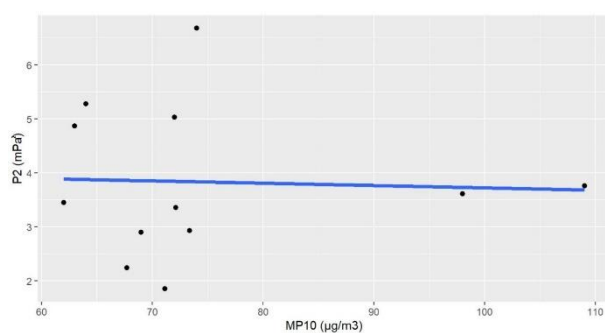
Adicionalmente, se optó por evaluar correlaciones calculando la presión sonora cuadrática de los niveles de ruido. A continuación, se presentan los valores de presión sonora cuadrática ( $P^2$ ) de los niveles de ruido en vías de alto tránsito y parques, y su relación con el  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO.

**Tabla 11:** Valores de presión sonora cuadrática en vías de alto tránsito vehicular, y niveles de  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.

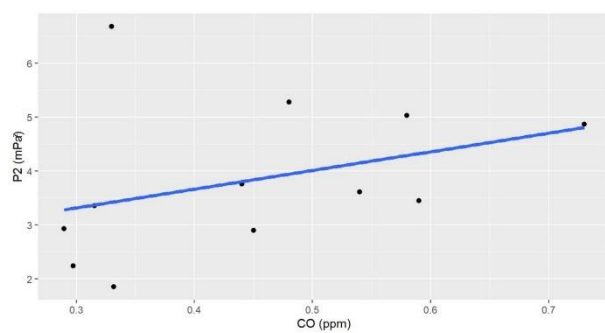
Comuna	$P^2$ (mPa <sup>2</sup> )	$MP_{2.5}$ (µg/m <sup>3</sup> )	$MP_{10}$ (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)
Las Condes	4.87	14	63	0.73
	3.45	13	62	0.59
	5.03	21	72	0.58
	5.28	11	64	0.48
Puente Alto	3.76	19	109	0.44
	6.68	7	74	0.33
	3.61	18	98	0.54
	2.90	15	69	0.45
Maipú	1.85	17	71.1	0.33
	2.93	16.8	73.4	0.29
	3.36	16.6	72.1	0.32
	2.24	14.9	67.7	0.30



**Figura 43:** Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y  $MP_{2.5}$  en vías de alto tránsito vehicular.



**Figura 44:** Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y  $MP_{10}$  en vías de alto tránsito vehicular.



**Figura 45:** Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y CO en vías de alto tránsito vehicular.

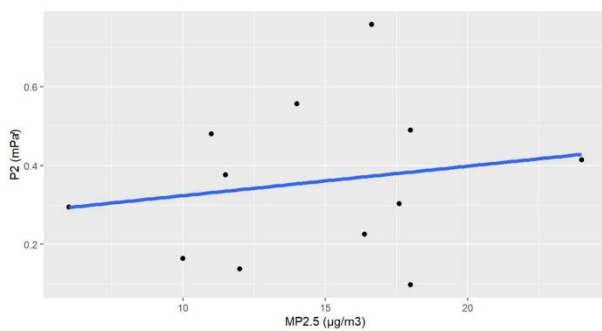
**Tabla 12:** Correlaciones de Pearson y Spearman entre contaminantes y su significancia.

Tipo de Correlación	$P^2$ y $MP_{2.5}$		$P^2$ y $MP_{10}$		$P^2$ y CO	
	r	valor p	r	valor p	r	valor p
Pearson (n=12)	-0.50	0.09>0.05	-0.04	0.89>0.05	0.35	0.26>0.05
Spearman (n=12)	-0.26	0.41>0.05	0.13	0.7>0.05	0.44	0.15>0.05

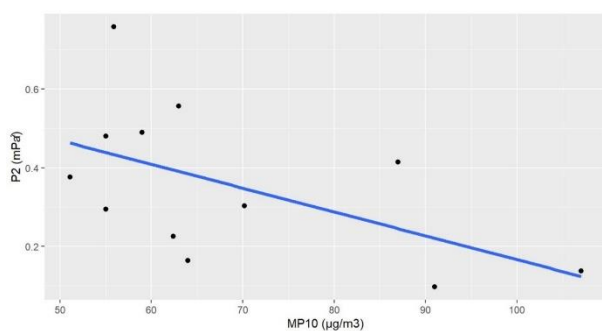
En vías altamente transitadas, para el caso de  $P^2$  y  $MP_{2.5}$  se producen correlaciones negativas de Pearson y Spearman moderadas y bajas respectivamente, aunque no significativas ya que los valores p obtenidos fueron de 0,09 y 0,41 respectivamente. Entre  $P^2$  y  $MP_{10}$  se observa una correlación de Spearman positiva mínima no significativa y no se produce correlación de Pearson y al observar el gráfico 20, este no presenta una tendencia clara. Para el caso de  $P^2$  y CO se observan correlaciones positivas de Pearson y Spearman bajas y no significativas, con valores p de 0,26 y 0,15 respectivamente.

**Tabla 13:** Valores de presión sonora cuadrática en parques, y concentraciones de  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO en las comunas de Las Condes, Puente Alto y Maipú.

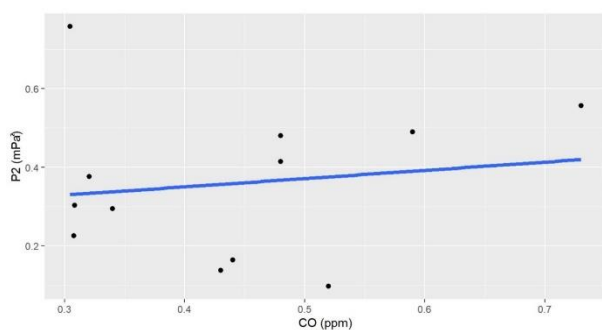
Comuna	$P^2$ (mPa <sup>2</sup> )	$MP_{2.5}$ (µg/m <sup>3</sup> )	$MP_{10}$ (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)
Las Condes	0.557	14	63	0.73
	0.490	18	59	0.59
	0.414	24	87	0.48
	0.480	11	55	0.48
Puente Alto	0.138	12	107	0.43
	0.295	6	55	0.34
	0.097	18	91	0.52
	0.164	10	64	0.44
Maipú	0.226	16.4	62.4	0.31
	0.758	16.6	55.9	0.30
	0.303	17.6	70.2	0.31
	0.376	11.5	51.1	0.32



**Figura 46:** Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y  $MP_{2.5}$  en parques.



**Figura 47:** Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y  $MP_{10}$  en parques.



**Figura 48:** Dispersión de datos de presión sonora cuadrática y CO en parques.

**Tabla 14:** Correlaciones de Pearson y Spearman entre contaminantes y su significancia.

Tipo de Correlación	$P^2$ y $MP_{2.5}$		$P^2$ y $MP_{10}$		$P^2$ y CO	
	r	valor p	r	valor p	r	valor p
Pearson (n=12)	0.18	0.57>0.05	-0.54	0.067>0.05	0.14	0.66>0.05
Spearman (n=12)	0.17	0.59>0.05	-0.51	0.09>0.05	0.09	0.77>0.05



En base a la tabla 14, en el caso del  $MP_{2.5}$  y presión sonora cuadrática se observa un grado de correlación positiva mínima y no significativa, considerando los valores de significancia en ambos casos. En este caso, entre la presión sonora cuadrática y  $MP_{10}$  se producen correlaciones negativas moderadas que no son significativas ya que su valor p es mayor a 0,05. Adicionalmente, se observan correlaciones positivas mínimas, de carácter no significativo. Por otra parte, se presenta un grado de correlación positiva mínima entre las presiones sonoras cuadráticas y la concentración de CO en parques, las cuales son de carácter no significativas.

Al analizar todos los resultados, en general para el caso de la relación entre las variables de ruido y los contaminantes  $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$  no existe una tendencia clara. Esto debido a que existen diferentes tendencias tanto para el  $MP_{2.5}$  y  $MP_{10}$ , tráfico vehicular y parques, según cada caso:

En particular para el caso del  $MP_{2.5}$ , en vías de alto tránsito vehicular, se observó que las correlaciones entre las variables de ruido y el  $MP_{2.5}$  fueron negativas y no significativas en ambos casos, en donde se obtuvo una correlación negativa mínima entre el  $MP_{2.5}$  y los niveles de ruido en dB(A), y una correlación negativa moderada entre el  $MP_{2.5}$  y  $P^2$ . En parques se obtuvieron correlaciones positivas mínimas y no significativas, tanto para el  $MP_{2.5}$  y los niveles de ruido en dB(A) y entre el  $MP_{2.5}$  y  $P^2$ .

Para el caso del  $MP_{10}$  en vías de alto tránsito vehicular, las correlaciones entre el  $MP_{10}$  y las variables de ruido fueron casi nulas, tanto para el  $MP_{10}$  y los niveles de ruido en dB(A) como para el  $MP_{10}$  y  $P^2$ . Por otro lado, en parques se observó otra tendencia, ya que en estos casos se obtuvieron correlaciones negativas moderadas en general, y específicamente para el caso del  $MP_{10}$  y el ruido en dB(A) se obtuvo una correlación de Pearson negativa moderada, de carácter significativa. Para el caso del  $MP_{10}$  y  $P^2$  también

se obtuvieron correlaciones negativas moderadas, pero ninguna de estas fue significativa.

Para el caso del monóxido de carbono en vías de tránsito vehicular, se obtuvieron coeficientes de correlaciones positivas moderadas para el caso del CO y ruido en dB(A) y positivas débiles para el caso del CO y  $P^2$ , aunque en ambos casos las correlaciones no fueron significativas. Cabe señalar que la correlación de Spearman entre el CO y ruido en dB(A) presentó valores cercanos a 0,05. En parques, se obtuvieron valores de coeficientes de correlación casi nulos, tanto para el caso entre el CO y ruido en dB(A) como para el CO y  $P^2$ .

Si bien se identificaron algunas tendencias puntuales según cada contaminante y entorno, los resultados obtenidos no permiten esclarecer por completo el comportamiento de cada contaminante atmosférico y las variables de ruido evaluadas. Según los datos obtenidos, sólo se identificó un coeficiente de correlación que es estadísticamente significativo la cual fue la del comportamiento entre el  $MP_{10}$  y el ruido en dB(A), para las mediciones realizadas en parques. Sin embargo, esto no permite afirmar que existe una correlación entre estos contaminantes, ya que la evaluación se realizó en lugares y horarios puntuales, en donde los niveles de ruido pueden variar debido a las características intrínsecas del ruido dependiendo de la hora que sea y de las distintas fuentes que pueden generar estos niveles de ruido. Adicionalmente, dado que estas correlaciones moderadas ocurrieron para el caso del contaminante atmosférico y el ruido en dB(A), no se podría afirmar que existen correlaciones entre el  $MP_{10}$  y el ruido debido a que en este caso se expresaría el grado de correlación entre el contaminante y los niveles de presión sonora en escala logarítmica, lo que no expresa necesariamente el grado de correlación con la presión sonora efectiva del ruido.

Por otro lado, al comparar las Figuras 1, 2, 3 y 4 con el análisis de los diagramas polares bivariados, se observa que los lugares de muestreo de ruido no fueron coincidentes con la dirección del viento durante los máximos, para el caso de las 3 comunas. Adicionalmente, un factor importante a considerar es la distancia de las estaciones de monitoreo de calidad del aire a los puntos de medición de ruido, ya que si bien se asumió la representatividad de las estaciones de monitoreo, la distancia entre el lugar de toma de muestras de ruido y las estaciones fue diferente entre las comunas y lejana a las estaciones de monitoreo de calidad del aire. En ese sentido, al tener en consideración ambos factores mencionados, es posible que una de las razones por la que no se identificó tendencias claras fue producto de que los factores de distancia y ubicación de los puntos de muestreo de ruido tengan poca relación con las tendencias de los contaminantes identificadas en los diagramas polares bivariados.

Por otra parte, haciendo una comparación con los resultados obtenidos por Morgan & Shallcross (2021), aunque las correlaciones positivas moderadas entre el CO y el ruido no fueron significativas en este trabajo, estas también se produjeron en entornos urbanos. Esto se alinea de cierta manera con lo que sugieren dichos autores, ya que plantean que sus sensores de ruido podrían ser útiles en escuelas que se ubiquen en entornos urbanos ya que se podrían usar para medir la contaminación del aire, y aclaran que este uso podría ser menos útil en entornos rurales.

Por otro lado, teniendo en consideración los resultados propios de la presente investigación y la interpretación estadística de estos, si bien el valor p demuestra la fiabilidad de obtener valores semejantes al realizar el experimento en condiciones iguales, uno de los factores que puede incidir en esto de estos es el tamaño de la muestra, lo cual puede ser un factor importante a considerar, puesto que en este caso

las múltiples mediciones de ruido buscaron representar el comportamiento en períodos puntuales de tiempo en ciertos días de la semana y por otra parte la cantidad de muestras de contaminantes fue baja debido a que estas son medidas cada una hora en las estaciones de monitoreo, lo cual pudo ser otra de las causantes por las que no se obtuvo correlaciones estadísticamente significativas entre los contaminantes.

En ese sentido, una optimización del diseño experimental que considere recomendaciones en base a la experiencia adquirida por este trabajo y antecedentes bibliográficos, podría permitir obtener resultados más claros y significativos que a la vez podrían esclarecer la relación entre los contaminantes atmosféricos considerados y el ruido.

## IV. CONCLUSIÓN

De acuerdo con la evaluación de los niveles sonoros de exposición medidos en horarios AM y PM en vías de tráfico vehicular y en parques, es posible afirmar que se producen mayores niveles de ruido en vías de tráfico vehicular en comparación a los niveles de ruido de los parques. Esta tendencia es esperada, ya que esto permite que los parques puedan cumplir con las funciones y expectativas para las que son diseñados este tipo de espacios, desde el punto de vista de la planificación urbana. Por otra parte, las diferencias entre los niveles de ruido que existen entre las comunas analizadas pueden explicarse principalmente por la variación en las fuentes de ruido según cada caso, lo cual puede incidir en la percepción que tengan las personas de cada entorno. Entre los niveles del espectro de todas las mediciones de ruido que se realizaron en ambos tipos de entorno se obtuvo que los valores más altos de la intensidad del ruido se produjeron a bajas frecuencias entre los 31,5 y 63 Hz. Por otra parte, al analizar los niveles horarios de  $MP_{2.5}$ ,  $MP_{10}$  y CO se identificaron tendencias distintas para cada comuna, según cada contaminante. La tendencia que más destaca es el máximo de concentración de contaminantes que se produce en la comuna de Maipú a las 7:00 AM. Al comparar este análisis con literatura científica, los máximos de concentraciones podrían asociarse al uso del transporte. Al analizar las componentes de transporte atmosférico en las distintas comunas de estudio, se identificaron patrones para cada contaminante en donde se evidencia la condición de baja ventilación que existe en la ciudad de Santiago.

A pesar de que se logró cumplir con gran parte de los objetivos específicos de este trabajo, el posterior análisis de correlaciones entre los periodos específicos de

mediciones de ruido y niveles horarios de contaminantes no permitió dar una respuesta concreta a la pregunta de investigación planteada como objetivo general, es decir, los resultados no permitieron establecer una relación clara entre ambos tipos de contaminantes, ya que si bien se mostraron ciertas tendencias en algunos casos particulares, también existió una gran variación entre las mediciones de ruido realizadas y los niveles horarios de las estaciones SINCA, dependiendo del tipo de entorno que se analizara. Si bien existe literatura que afirma la incidencia del factor socioeconómico en los efectos que el ruido podría provocar en distintos lugares, los resultados cuantitativos de este trabajo indican que son necesarios más estudios para establecer correlaciones entre los contaminantes atmosféricos analizados y los niveles de ruido ambiental en distintas comunas de Santiago.

## **V. RECOMENDACIONES**

Las principales recomendaciones del presente estudio tienen relación con una optimización de la metodología aplicada, ya que al ajustar ciertos aspectos aplicados en este estudio se podrían obtener resultados que tengan una mayor significancia.

Una de las variables limitantes de este estudio fue considerar un tipo de sector representativo de alto flujo vehicular y parque por comuna a analizar. En ese sentido, si bien se caracterizaron los niveles de ruido en cada lugar de medición definido para cada comuna, los niveles de ruido pueden variar dependiendo de las fuentes sonoras que sean percibidas en el entorno a distintas horas del día. Una opción para controlar la variable podría ser utilizar la totalidad de estaciones de monitoreo de ruido que hay presentes en la red de monitoreo de ruido ambiental del Ministerio del Medio Ambiente,

y realizar el análisis considerando un descriptor de ruido diferente, que permita evaluar el ruido a lo largo del día, añadiendo una base que permita evaluar un mayor número de datos. Esto permitiría evaluar correlaciones entre las concentraciones horarias de contaminantes y los niveles de ruido equivalente de 1 hora en distintas estaciones de monitoreo de ruido, de esta manera se podrían analizar un mayor número de muestras en el análisis. Una opción adicional de muestreo podría focalizar el análisis en sólo un tipo sector representativo y en un período de tiempo en específico, aplicando el monitoreo de ruido en lugares más cercanos a cada estación de calidad del aire en conjunto con un mayor período de tiempo, para poder recolectar y analizar un mayor número de muestras. Otra manera de complementar u optimizar la metodología aplicada a este estudio sería realizando mediciones de contaminantes atmosféricos en los mismos lugares y al mismo momento de realizar las mediciones de ruido, lo cual permitiría analizar las concentraciones de contaminantes atmosféricos con mayor detalle dependiendo del lugar en donde se esté midiendo, y a su vez reduciría la dependencia de los datos disponibles que puedan tener las estaciones de monitoreo de calidad del aire del SINCA.

## VI. REFERENCIAS

- Arriaga, A. y Pardo, M. (2011). Justicia ambiental: estado de la cuestión. *Revista Internacional de Sociología* 69 (3): 627-648. DOI: 10.3989/2009.12.210.
- Barrios, N. (2019). El ruido y sus nocivos efectos para la salud. Universidad de la Costa. <https://www.cuc.edu.co/noticias/67-generales/4530-el-ruido-y-sus-nocivosefectos-para-la-salud>
- Contraloría General de la República (CGR). (2016). Informe presupuestario municipal Región Metropolitana.
- Defra. (2014), Environmental Noise: Valuing impacts on: sleep disturbance, annoyance, hypertension, productivity and quiet., Department for Environmental Food & Rural Affairs informed by the Interdepartmental Group on Costs and Benefits Noise Subject Group.
- Dreger, S., Schüle, S., Hiltz, L. & Bolte, G. (2019). Social inequalities noise exposure: a review of evidence in the WHO European region. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (6). <https://doi.org/10.3390/ijerph16061011>
- European Commission. (2016). In-depth Report 13, Publications Office of the European Union, Luxembourg [http:// dx.publications.europa.eu/10.2779/200217](http://dx.publications.europa.eu/10.2779/200217)
- European Environment Agency. (2020). Environmental noise in Europe, 2020. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/686249>
- Fung, Y. W., & Lee, W. L. (2011). Identifying a common parameter for assessing the impact of traffic-induced noise and air pollutions on residential premises in Hong Kong. *Habitat International*, 35(2), 231–237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.habitatint.2010.09.007>
- García, A. (2006). La contaminación Acústica: Fuentes, Evaluación, Efectos y Control. Sociedad Española de Acústica.



Geravandi, S., Takdastan, A., Zallaghi, E., & Niri, M. V. (2015). Noise pollution and health effects. *Jundishapur Journal of Health Sciences*, 7(1), e60312.

IQAir. (2021). *World Air Quality Report. Region & City PM2.5 Ranking*.

Kim, K. H., Ho, D. X., Brown, R. J., Oh, J. M., Park, C. G., & Ryu, I. C. (2012). Some insights into the relationship between urban air pollution and noise levels. *The Science of the total environment*, 424, 271–279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.066>

Kogan, P. (2020). *Sonido, ruido y audición. Apuntes del Curso Acústica Ambiental*. Departamento de Sonido, Universidad de Chile.

Löbig, J., & Weber, S. (2017). Using ambient noise measurements to model urban particle number size distributions at a traffic site. *Atmospheric Pollution Research*, 8(2), 366–373. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2016.10.008>

Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (1994). *Ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2016). *Guía de calidad del aire y educación ambiental*. Cap. 1 “El problema de la Contaminación Atmosférica”.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2021). *Informe del Estado del Medio Ambiente*. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/REMA2021.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2022). *Ruido Ambiental*. <https://ruido.mma.gob.cl/>

Morales, R. (2006). *Contaminación atmosférica urbana: Episodios críticos de contaminación Ambiental en la ciudad de Santiago*. Editorial Universitaria.

Morelli, X., Foraster, M., Aguilera, I., Basagana, X., Corradi, E., Deltell, A., Ducret-Stich, R., Phuleria, H., Ragettli, M.S., Rivera, M., Thomasson, A., Künzli, N., Slama, R. (2015). Short-term associations between traffic-related noise, particle number and traffic flow in

three European cities. *Atmospheric Environment*, 103, 25–33.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.12.012>

Morgan, J. & Shallcross, D. (2021). The power of sound – can we hear air pollution?

<https://www.ase.org.uk/system/files/Morgan.pdf>

Munizaga, M., Palma, C. (2012). Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin–Destination matrix from passive smartcard data from Santiago, Chile, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 24, 9-18.

Muñoz, V., Thomas, A., Navarrete, C., Contreras, R. (2015). Encuesta origen-destino de Santiago 2012: Resultados y validaciones. *Estudios de Transporte*, 19(1).

OECD. (1998). *Environmentally sustainable transport: report on phase II of the OECD EST project*. Organisation for Economic Co-operation and Development Environment Policy Committee.

Palacios-García, I., Luarte, N., Herrmann-Lunecke, M.-G., Grasso-Cladera, A., & Parada, F. J. (2020). Environmental noise is differently associated with negative and positive urban experience: An exploratory first-person pedestrian mobile study in Santiago de Chile. *Studies in Psychology*, 41(3), 580-611.  
<https://doi.org/10.1080/02109395.2020.1795376>

Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R. y Neira, M. (2016). *Preventing Disease Through Healthy Environments: A global assesment of the burden of disease from environmental risks*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.  
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/204585>

Rodríguez, F., Sánchez, G., García, S. y Ponce, D. (2015). Ruido ambiental, paisaje sonoro y planeación urbana: hacia una valoración del ambiente sonoro de la Ciudad de México. *Taller Servicio 24 Horas* ISSN 2007- 8684, 11(22BIS), 39-52.

Salgado, M., Romero, H., Vásquez, A. y Fuentes, C. (2009). Segregación Socio-Ambiental en espacios urbanos. Estudio de caso en la comuna de Peñalolén. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/118082>

Shu, S., Yang, P., & Zhu, Y. (2014). Correlation of noise levels and particulate matter concentrations near two major freeways in Los Angeles, California. *Environmental pollution*, 193, 130-137.

Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA). (2015). Normativa aplicable. <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/norma>

Suárez, E., Cárdenas, J. (2018). Mapa sonoro de la zona centro del Gran Santiago. Acústica Universidad Austral de Chile. <https://www.acusticauach.cl/mapa/manejador/resources/libro-mapa-sonoro-santiago-completo.pdf>

Subsecretaría de desarrollo regional y administrativo (Subdere). (2017). Anexo 7: Estudio de la calidad del aire. Laboratorio de Planificación Territorial, Universidad de Temuco.

TomTom. (2021). TomTom Traffic Index, TomTom International BV. Recuperado en noviembre de 2021. [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/santiago-traffic](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/santiago-traffic)

United Nations Development Programme (2010). The real wealth of nations: Pathways to human development (Human Development Report 2010).

United States Environment Protection Agency (U.S. EPA). (2021). Carbon Monoxide (CO) Pollution in Outdoor Air. <https://www.epa.gov/co-pollution>

Universidad de Santiago de Chile (USACH). (2014). Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana. Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile.

Walker, E. D., Brammer, A., Cherniack, M. G., Laden, F., & Cavallari, J. M. (2016). Cardiovascular and stress responses to short-term noise exposures—A panel study in healthy males. *Environmental Research*, 150, 391–397. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.016>

World Health Organization (WHO). (2018). Environmental Noise Guidelines for the European Region. [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf)

## VII. ANEXO

### 1) Mediciones de Ruido

Tráfico Vehicular						
Comuna	Fecha	Horario	N° medición	Leq (dB(A))	Lmin (dB(A))	Lmáx (dB(A))
Las Condes	18/01/2022	10:00- 11:00	1	76.1	57.3	94.5
			2	68.7	57.7	79.2
			3	68.6	55.9	80.8
			4	70	57.8	85.1
			5	67.9	55.5	78.2
			6	68.7	57.4	79.6
			7	67.8	58.4	79.1
		17:00- 18:00	1	68.8	58.1	82.6
			2	70	58.8	81.9
			3	69.3	59.7	84.1
			4	68.5	59.2	76.6
			5	69.3	58	79.8
			6	69.1	57.2	77.1
			7	70.2	59.1	80.6
	25/01/2022	10:00- 11:00	1	71	57.1	81.4
			2	71.4	62.5	79.5
			3	70.6	60.9	76.9
			4	72.2	55.6	86.1
			5	70.4	56.2	76.8
			6	71	56.6	78.6
			7	70	56.3	76.1
		17:00- 18:00	1	70.8	60	81.6
			2	70.6	59.9	78.5
			3	69.9	55.8	81.1
			4	71.2	59.5	80.4
			5	74.1	60.7	92.9
			6	69.4	59	78.7
			7	70.6	56.3	78.4

Tráfico Vehicular						
Comuna	Fecha	Horario	N° medición	Leq (dB(A))	Lmin (dB(A))	Lmáx (dB(A))
Puente Alto	19/01/2022	10:00-11:00	1	68	56.4	74.2
			2	70.9	57.2	81.7
			3	70	56.2	78.2
			4	70.4	57.3	82.2
			5	69.9	56.1	79.8
			6	68.4	54.3	78.4
			7	69.8	57.1	90.3
		17:00-18:00	1	74.2	58.1	93.7
			2	72.8	58.3	90.2
			3	66.1	59.5	81.7
			4	68.6	56	79.1
			5	70.9	59.7	85.2
			6	65.1	56.6	80.2
			7	76.5	57.8	95.8
	25/01/2022	10:00-11:00	1	68.5	55	82.2
			2	69.8	59.6	79
			3	69.5	55.7	81.6
			4	69	57	77.6
			5	70.8	58.6	84
			6	69.2	59.7	79.7
			7	69.7	56.7	89.1
		17:00-18:00	1	67.2	57.2	77.3
			2	70.4	61.1	79.7
			3	68.4	59.3	78.1
			4	65.4	57.3	82
			5	67.4	58	82.5
			6	70.4	59.7	83.8
			7	68.9	58.9	81.8

Tráfico Vehicular						
Comuna	Fecha	Horario	N° medición	Leq (dB(A))	Lmin (dB(A))	Lmáx (dB(A))
Maipú	20/01/2022	10:00-11:00	1	67	60.5	74.6
			2	66.1	59.8	78.3
			3	66.4	60	73.2
			4	67.1	60.2	78.4
			5	65.9	60	74.6
			6	66.7	59.7	77.1
			7	67.2	60.9	76.9
		17:00-18:00	1	69.1	60.8	80.8
			2	70.7	60	91.2
			3	66.1	60.1	78.5
			4	66.9	60.1	77
			5	68.5	60.3	85.1
			6	69.1	60.9	87
			7	68.6	60	87.5
	25/01/2022	10:00-11:00	1	70.4	63.3	78.2
			2	68.7	63.1	75.7
			3	67.6	62.9	74.5
			4	69.6	63.5	81.2
			5	71.1	62.5	82.2
			6	67.8	61	78.5
			7	68.2	61.8	77.4
		17:00-18:00	1	69	61.2	81.9
			2	67.2	60	82.9
			3	67.2	59.8	78.4
			4	66.7	59.8	79.6
			5	66.3	60	78.4
			6	67.1	60.9	78.8
			7	68.3	60	81

Parque						
Comuna	Fecha	Horario	N° medición	Leq (dB(A))	Lmin (dB(A))	Lmáx (dB(A))
Las Condes	18/01/2022	11:00-12:00	1	60	43.8	68.4
			2	62.7	45.7	73.7
			3	61.6	45.2	72.2
			4	60.5	47.3	67.4
			5	60	48.2	66.5
			6	60.5	45.8	71
			7	63.4	44.9	78.1
		18:00-19:00	1	60.6	43.2	67
			2	60.8	47.2	66.9
			3	61.1	49.5	67
			4	59.9	44.4	65.5
			5	60.1	44.8	68
			6	60.3	48.7	66.7
			7	62.7	48.8	73
	25/01/2022	11:00-12:00	1	60.6	47.6	69.9
			2	60.7	49.1	67.4
			3	61.1	47.4	71.1
			4	59	45.3	71.3
			5	59.4	45.3	67.6
			6	58.3	43.6	65.7
			7	61.1	43.5	74.3
		18:00-19:00	1	61.2	47.8	67.9
			2	60.9	44.5	69.4
			3	60.5	47	69.7
			4	61.2	48.4	67.6
			5	59.3	46.1	68.3
			6	61.6	44.4	68.9
			7	60.5	47.1	68



Parque						
Comuna	Fecha	Horario	N° medición	Leq (dB(A))	Lmin (dB(A))	Lmáx (dB(A))
Puente Alto	19/01/2022	11:00-12:00	1	53.7	47	67.4
			2	54.9	46.5	72.4
			3	59.4	45.5	76.1
			4	53.8	46	68.6
			5	53.8	44.1	63.7
			6	54	47.3	61.7
			7	54.3	46.3	70.1
		18:00-19:00	1	57.4	50.5	67.1
			2	56.1	50.4	66.2
			3	61	50.7	78.8
			4	56.3	48.9	66
			5	60.7	51.7	74.1
			6	59.1	50.3	70.6
			7	57.2	50.8	66.3
	26/01/2022	11:00-12:00	1	53	47	62.5
			2	53.8	44	68.9
			3	55.4	45.7	68.4
			4	55	44.9	67.3
			5	51.2	45	62.2
			6	54.9	45.7	63.5
			7	52	46.1	59.1
		18:00-19:00	1	53.3	48.7	59.2
			2	56.4	49	67.5
			3	56.7	49.1	67.4
			4	58.5	50.2	72.4
			5	56.1	47.2	66.3
			6	55.8	48.5	70.8
			7	54.2	49.9	65.4

Parque						
Comuna	Fecha	Horario	N° medición	Leq (dB(A))	Lmin (dB(A))	Lmáx (dB(A))
Maipú	20/01/2022	11:00-12:00	1	57.6	47.5	68.1
			2	56.5	48	62.2
			3	58.1	48.3	70
			4	57.8	46.8	68.9
			5	58.1	45.7	66.5
			6	57.4	49.9	67
			7	56.9	48.8	63.2
		18:00-19:00	1	63.2	52.4	78.8
			2	62.3	52.4	75.8
			3	62.5	52.9	75.4
			4	64.9	52.8	80.2
			5	59.9	53.6	68.4
			6	64	53.1	80
			7	60.5	52.4	70.4
	27/01/2022	11:00-12:00	1	58.4	49.9	68.9
			2	58.3	49.2	69.8
			3	59.6	46.7	74
			4	58.2	48.3	65.1
			5	59.1	50.5	73.1
			6	59.4	51.7	70.7
			7	58.3	51.6	66.9
		18:00-19:00	1	59.2	52.9	65
			2	58.6	51.5	66
			3	60.5	53.2	70
			4	59	53.1	69.3
			5	59.6	52.7	66.3
			6	61.5	55.2	74.2
			7	58.9	53.6	65.1

## 2) Niveles de frecuencia de las mediciones

## Tráfico Vehicular, comuna de Las Condes

Fecha	18 de enero							
Horario	10:00-11:00 AM							
Banda (Hz)	Medición 1 (dB)	Medición 2 (dB)	Medición 3 (dB)	Medición 4 (dB)	Medición 5 (dB)	Medición 6 (dB)	Medición 7 (dB)	Promedio (dB)
31,5	73.5	73.2	71.2	72.5	69.8	72.2	72.6	72.1
63	75.7	74	76.7	74.1	72.1	74.5	73.5	74.4
125	78.7	71.5	68.8	75.4	66.9	70.2	68.2	71.4
250	76.9	66.6	65.4	70.9	64.5	66.4	64.5	67.9
500	74.2	64.5	64.2	65.3	62.8	64.6	62.9	65.5
1000	69.7	64.9	64.9	65.5	64.4	64.8	63.7	65.4
2000	67.6	61	61.4	62.1	60.9	61.5	60.6	62.2
4000	62.6	54	54.1	55.6	53.5	55.2	57.5	56.1
8000	55.8	46.9	45.6	47	45	46.9	46.4	47.7
16000	44.1	40.4	36.3	41.5	35.4	36.5	36.5	38.7

Fecha	18 de enero							
Horario	17:00-18:00 PM							
Banda (Hz)	Medición 1 (dB)	Medición 2 (dB)	Medición 3 (dB)	Medición 4 (dB)	Medición 5 (dB)	Medición 6 (dB)	Medición 7 (dB)	Promedio (dB)
31,5	72.6	72.9	74.4	72.6	73.3	74.1	73.5	73.3
63	74.7	73.9	75.2	74.7	74.4	73.8	75.1	74.5
125	70.9	73.3	70.4	70.5	70.7	71.5	70.9	71.2
250	67	67.9	65.2	66.7	68.7	66.6	68.4	67.2
500	65.4	65.9	63.9	64.5	65.3	64.9	66.5	65.2
1000	64.5	64.9	64.2	64.3	64.8	65.1	65.7	64.8
2000	61.1	62.7	60.9	61	60.9	61.6	63	61.6
4000	55.2	59.4	63	55.3	58.6	55.1	57.2	57.7
8000	46.5	56.8	48.4	49.7	47.1	46.7	51.4	49.5
16000	38.5	44.6	39.7	41	42.3	40.4	43.7	41.5

Fecha	25 de enero							
Horario	10:00-11:00 AM							
Banda (Hz)	Medición 1 (dB)	Medición 2 (dB)	Medición 3 (dB)	Medición 4 (dB)	Medición 5 (dB)	Medición 6 (dB)	Medición 7 (dB)	Promedio (dB)
31,5	69.4	70.5	70.3	70.4	69.6	70.9	69.4	70.1
63	72.6	73.3	73.2	75.6	71.7	71.9	71.2	72.8
125	75.2	73	71.5	72.7	67.7	69.1	68.5	71.1
250	68.7	69.3	68.9	75.1	66.2	68.1	66.6	69.0
500	66.8	67.3	66.6	68.8	65.8	67	65.6	66.8
1000	67.1	67.7	66.8	66.8	67.3	67.8	66.8	67.2
2000	63.6	64	63.3	63.2	63.1	63.3	62.6	63.3

<b>4000</b>	55.5	56.5	54.6	55.3	54.1	54.6	54	54.9
<b>8000</b>	46.5	47.2	45.2	48.2	45	46.6	45	46.2
<b>16000</b>	37.1	38.2	36.6	44.8	39.9	37.8	37.6	38.9

<b>Fecha</b>	25 de enero							
<b>Horario</b>	17:00-18:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	71.3	73.8	70.7	71.6	70.8	70.7	71	71.4
<b>63</b>	73.5	73.4	71.9	72.6	73	72.3	74.9	73.1
<b>125</b>	71.7	70.9	68.9	69.7	73.5	69.1	74	71.1
<b>250</b>	68.4	68.8	68.7	70.4	76.3	67.9	69.1	69.9
<b>500</b>	65.9	67	65.8	67	70.8	65.5	66.3	66.9
<b>1000</b>	67.2	66.2	66.1	66.9	67.8	65.2	66.5	66.6
<b>2000</b>	63.8	63.5	62.9	64.4	66.7	62.5	63.6	63.9
<b>4000</b>	55	56.5	53.6	57.3	58.9	54	55.2	55.8
<b>8000</b>	45.8	49.3	44.2	47.5	49.9	44.9	48.4	47.1
<b>16000</b>	46.6	42.9	42.9	40.2	41.4	41.7	44.2	42.8

#### Tráfico Vehicular, comuna de Puente Alto

<b>Fecha</b>	19 de enero							
<b>Horario</b>	10:00-11:00 AM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	71.7	73	72.3	71.9	71	70.8	72.8	71.9
<b>63</b>	73.1	74.8	74.7	77.3	73.3	72.7	73.4	74.2
<b>125</b>	69.7	69.7	69.5	72.3	70.2	68	69.3	69.8
<b>250</b>	65.2	67.2	66.2	70.4	66.9	66.5	65.7	66.9
<b>500</b>	62.9	66.5	65.1	65.7	66.2	64.1	65.4	65.1
<b>1000</b>	64.1	67.3	66.4	65.7	65.7	64.2	65.3	65.5
<b>2000</b>	61.4	64.1	63.4	63.1	63.1	61.4	63.8	62.9
<b>4000</b>	53.8	56.9	55.7	57.2	55.9	55	56.8	55.9
<b>8000</b>	48.5	48.9	46.9	50.1	47.7	47.9	46.3	48.0
<b>16000</b>	39.3	43.3	43.8	44.8	40.5	40.6	40.1	41.8

<b>Fecha</b>	19 de enero							
<b>Horario</b>	17:00-18:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	74.2	73.1	74.3	72.9	74.1	70.9	73.5	73.3
<b>63</b>	75.2	76.2	73.3	74.2	75.2	71.9	75.9	74.6
<b>125</b>	73.8	75.3	66.8	70.6	73.8	67.3	71.7	71.3
<b>250</b>	69.6	70.6	64.5	65.8	72.4	64	67.3	67.7
<b>500</b>	69.1	68.5	62.9	64.8	67	61.3	66.3	65.7
<b>1000</b>	70.2	68	61.1	64.5	65.7	59.8	75.2	66.4
<b>2000</b>	67.9	66	58.4	61.4	63.5	58	66.6	63.1
<b>4000</b>	62.6	61.8	55.2	54.9	57.2	54.7	55	57.3
<b>8000</b>	52.3	53.7	44.6	47.1	49.5	43.9	46.9	48.3
<b>16000</b>	43.8	46.2	46.2	42.3	46.3	44.1	41.7	44.4

<b>Fecha</b>	26 de enero							
<b>Horario</b>	10:00-11:00 AM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	72	71.9	70.8	72.2	71.9	72.5	72	71.9
<b>63</b>	74.3	76.1	73.4	74.2	75.3	75.4	73.3	74.6
<b>125</b>	70.3	73.5	70.2	70.8	71.8	69.8	68.8	70.7
<b>250</b>	68.4	66.2	66.5	67.1	69.1	67.5	64.9	67.1
<b>500</b>	63.4	64.5	64.4	64.2	66.7	65.1	63.5	64.5
<b>1000</b>	64.1	65.8	65.6	64.7	66.7	64.8	65.6	65.3
<b>2000</b>	61.3	63.1	62.8	61.8	63.4	62.2	63.6	62.6
<b>4000</b>	54.8	56.7	56.8	56	57	56	59	56.6
<b>8000</b>	49	52.6	49	52.2	50.2	48.7	51.5	50.5
<b>16000</b>	45.6	48.2	41.2	49.8	50	43.2	45.7	46.2

<b>Fecha</b>	26 de enero							
<b>Horario</b>	17:00-18:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	70.7	73.9	73.5	69.9	71	71.8	72.6	71.9
<b>63</b>	71.8	75	74.7	70.7	74	75.3	73.7	73.6
<b>125</b>	70.7	70.6	73.8	67.8	71.6	73.4	71.6	71.4
<b>250</b>	67.2	67.9	66.3	64.9	68.8	70.7	69.2	67.9
<b>500</b>	63.4	66.8	63.2	61.7	66.5	68.4	66.2	65.2
<b>1000</b>	62.5	66.2	63.6	60.8	60.9	64.7	64.1	63.3
<b>2000</b>	59.3	63.1	61.1	57.7	57	61.9	60	60.0
<b>4000</b>	53.7	56.7	57.1	51.1	52.2	56.4	55.2	54.6
<b>8000</b>	46.7	50.4	51	45.3	45.4	48.3	47	47.7
<b>16000</b>	40.6	45.4	45.7	35.8	37.1	51.9	43.2	42.8

#### Tráfico Vehicular, comuna de Maipú

<b>Fecha</b>	20 de enero							
<b>Horario</b>	10:00-11:00 AM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	75	74.6	74.6	76.3	75	75.4	75.2	75.2
<b>63</b>	74.7	71.7	73.2	74.5	72.5	74.2	74.4	73.6
<b>125</b>	69.5	68	68.8	68.7	67.6	67.3	71.5	68.8
<b>250</b>	65.6	63.4	64.4	65	64.4	64.9	66.2	64.8
<b>500</b>	63.3	62.4	63.4	63.5	62.6	63.5	63.3	63.1
<b>1000</b>	61.9	61.4	61.7	62.3	61.5	62	62.5	61.9
<b>2000</b>	59.5	58.8	58.7	60.1	58.4	58.8	59.6	59.1
<b>4000</b>	55	55.7	52.6	53.9	52.5	54.7	53.6	54.0
<b>8000</b>	47.7	46.4	47	47.9	48.5	48.4	47	47.6
<b>16000</b>	58.2	48.5	47.2	41	41.2	51.9	50.5	48.4

<b>Fecha</b>	20 de enero							
<b>Horario</b>	17:00-18:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	75.6	73.6	74.5	75.3	74.8	75.3	75.2	74.9
<b>63</b>	74.6	72.5	73	71.7	74.3	74.5	73.8	73.5
<b>125</b>	69.5	70.7	68.6	67.8	69.4	70.9	69.4	69.5
<b>250</b>	68.3	67	63.7	64.4	64.8	66.7	65	65.7
<b>500</b>	66.4	67	63.2	64	67.7	65.5	64.5	65.5
<b>1000</b>	64.3	67.7	61	61.9	62	62.3	63.9	63.3
<b>2000</b>	60.4	62	57.3	59.6	59.5	64	62.3	60.7
<b>4000</b>	57.1	53.9	55.5	55.5	54.5	54.9	55.7	55.3
<b>8000</b>	49.7	45.3	46.3	46.5	47.8	48.7	53.4	48.2
<b>16000</b>	43.6	38.2	48.7	45.3	43.7	45.4	44.4	44.2

<b>Fecha</b>	27 de enero							
<b>Horario</b>	10:00-11:00 AM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	73.5	74.4	74.3	73.6	74	75	72.8	73.9
<b>63</b>	80.4	77.6	76.4	73.3	73.6	74.1	72.6	75.4
<b>125</b>	77.7	76.2	72.9	72	68.6	69.1	70.1	72.4
<b>250</b>	72.4	69.4	68.5	71.2	65.5	66.7	66.7	68.6
<b>500</b>	65.5	64.4	63.4	66.3	70.9	64.5	65.4	65.8
<b>1000</b>	63.5	62.9	62.4	64.2	66.2	63.2	63.2	63.7
<b>2000</b>	60.8	59.8	59.2	61.2	62.5	59.8	60.6	60.6
<b>4000</b>	58.3	55.5	53.9	54.7	55.5	55.2	54.9	55.4
<b>8000</b>	58	46.6	46.6	47	48.2	48	47.8	48.9
<b>16000</b>	49.2	41.9	40.8	41.3	41.4	46	46.3	43.8

<b>Fecha</b>	27 de enero							
<b>Horario</b>	17:00-18:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	77	75.8	75.6	75.6	74.9	76.6	77.2	76.1
<b>63</b>	76.3	72.1	73.2	74.4	73.7	75.1	72.9	74.0
<b>125</b>	69.3	73	69.1	68.6	71.9	68.8	68.6	69.9
<b>250</b>	66.8	66.9	65.7	65.5	68.5	64.3	65.1	66.1
<b>500</b>	65.1	65	63.6	62.7	63.4	63.6	65.3	64.1
<b>1000</b>	63.2	60.7	61.8	60.5	60	61.5	62	61.4
<b>2000</b>	62.1	58.3	59.8	60.7	57	60.5	60.8	59.9
<b>4000</b>	59.5	55.9	56.5	55	51.8	55.2	60.3	56.3
<b>8000</b>	53.3	47.3	47.7	48.7	46.2	47.8	48.5	48.5
<b>16000</b>	49.1	46	49.7	51.1	44	42.9	43.9	46.7

#### Parques, comuna de Las Condes

<b>Fecha</b>	18 de enero							
<b>Horario</b>	11:00-12:00 AM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	62.2	64.2	63.6	64.2	61.6	63.3	63.7	63.3
<b>63</b>	65.5	66.1	66.2	64.3	64.9	65.7	72.2	66.4
<b>125</b>	63.6	64	63.4	62.3	62.4	62	69.3	63.9
<b>250</b>	59.1	60.8	60.8	58	58.7	58.9	66.3	60.4
<b>500</b>	53.7	57.2	56	53.8	53.4	55.7	58.2	55.4
<b>1000</b>	56.8	59.5	57.8	57.1	57	57	58.4	57.7
<b>2000</b>	52.5	55.1	54.4	53.9	52.5	52.4	54.7	53.6
<b>4000</b>	43.8	48	47.5	46	44.1	45.9	49.2	46.4
<b>8000</b>	33.9	39.2	40.4	37.4	34.6	39.6	40.3	37.9
<b>16000</b>	26.8	30.9	29.8	27.6	26	29.2	31.8	28.9



<b>Fecha</b>	18 de enero							
<b>Horario</b>	18:00-19:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	64.3	64.3	63.2	63.9	62.4	62.9	63.5	63.5
<b>63</b>	67	65.5	65.5	65.8	64.2	64.7	66.4	65.6
<b>125</b>	62.8	63.4	63.3	61.7	61.8	61.6	66.7	63.0
<b>250</b>	59.6	59.5	59.6	58.3	59.2	58.9	61.8	59.6
<b>500</b>	54.6	54.5	55	53.2	54.5	54.3	57	54.7
<b>1000</b>	57.7	57.6	58	56.7	56.8	57.4	59.5	57.7
<b>2000</b>	52.6	53.3	53.3	52.6	52.3	52.3	54.5	53.0
<b>4000</b>	44.1	45.6	45.2	44.4	44.2	43.2	47	44.8
<b>8000</b>	34.2	36.3	36.2	35.1	34.8	33.3	38.5	35.5
<b>16000</b>	27.9	27.8	26.8	26.5	26	26.9	28	27.1

<b>Fecha</b>	25 de enero							
<b>Horario</b>	11:00-12:00 AM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	62.7	63.8	62.8	63.2	62.6	60.8	62.4	62.6
<b>63</b>	66.2	66.8	66.7	69.1	66.5	62.2	66.8	66.3
<b>125</b>	63.5	66.7	63.1	63.2	62.6	60.6	66.7	63.8
<b>250</b>	60.1	59.2	59.8	58.6	59	57.9	61.4	59.4
<b>500</b>	53.5	53.6	56.2	52.8	53.4	52.1	55.1	53.8
<b>1000</b>	57	57	57.1	54.8	56	55.1	56.9	56.3
<b>2000</b>	53	53.6	53.9	51.2	51.6	50.4	53.5	52.5
<b>4000</b>	47.5	46	46.8	45.6	44.9	42.4	47.5	45.8
<b>8000</b>	46.5	39.3	37.6	35.5	36.8	33.5	39.9	38.4
<b>16000</b>	29.1	28.2	27.4	27.2	27.6	26.7	29.9	28.0

Fecha	25 de enero							
Horario	18:00-19:00 PM							
Banda (Hz)	Medición 1 (dB)	Medición 2 (dB)	Medición 3 (dB)	Medición 4 (dB)	Medición 5 (dB)	Medición 6 (dB)	Medición 7 (dB)	Promedio (dB)
31,5	63.9	64.2	63	63	62.2	62.6	62	63.0
63	66	66.2	68.2	66.3	65.4	64.6	65.2	66.0
125	62.3	62.9	64.1	64.3	62	62.2	62	62.8
250	59.7	58.8	58.8	59.5	59.5	59.1	58.1	59.1
500	55	54.5	54.7	54.4	53.4	55.1	53.8	54.4
1000	58	54.5	57.5	58	55.9	58.8	57.6	57.2
2000	53.8	52.9	52.1	53.6	50.9	54	53	52.9
4000	45.7	44.7	44	47.2	44.7	45.6	45.9	45.4
8000	37.3	35.5	34.3	40.2	37.4	36.8	37.4	37.0
16000	27.2	26.5	26.1	29.1	28.7	26.9	27.5	27.4

**Parque, comuna de Puente Alto**

Fecha	19 de enero							
Horario	11:00-12:00 AM							
Banda (Hz)	Medición 1 (dB)	Medición 2 (dB)	Medición 3 (dB)	Medición 4 (dB)	Medición 5 (dB)	Medición 6 (dB)	Medición 7 (dB)	Promedio (dB)
31,5	63.7	63.5	64.2	62.6	64.8	65.7	65	64.2
63	65.6	66.7	67.6	64.7	65.3	64.9	65.4	65.7
125	59.3	59.6	67.5	60.6	61.7	60.2	58.6	61.1
250	54.3	53.8	64.5	54.9	55.3	54.3	53.4	55.8
500	49.2	49.5	54.9	48.7	49.6	50	50	50.3
1000	46.5	48.8	50	46.4	47.3	48.3	47.4	47.8
2000	45.7	49.5	47.3	45.3	44.9	46.4	45.8	46.4
4000	44.4	40.6	44.9	45.4	39.5	40.7	47.1	43.2
8000	38.8	32.2	36.7	30.6	30.6	32.7	34	33.7
16000	29.6	29.1	30.9	26.5	28	33	32	29.9

<b>Fecha</b>	19 de enero							
<b>Horario</b>	18:00-19:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	70.3	75	65.6	66.6	71.6	66.2	66.6	68.8
<b>63</b>	66.7	68.4	68.4	69.2	70.8	67.5	67.6	68.4
<b>125</b>	63.8	62.2	66.1	64.6	66.6	66.7	63.9	64.8
<b>250</b>	59.2	59.3	66	58.5	63.7	61.7	62	61.5
<b>500</b>	53.7	50.9	55.9	51.4	57.7	56.2	53	54.1
<b>1000</b>	50.8	48.9	54.1	49.1	54.8	51.8	49.3	51.3
<b>2000</b>	48.4	46.6	49.9	47	49.8	49.3	46	48.1
<b>4000</b>	43.9	44.8	43.9	43.3	45.2	43.2	41.8	43.7
<b>8000</b>	39	38.3	37.3	40.2	37.9	36.7	36.3	38.0
<b>16000</b>	43.1	41	35.9	43	35.3	35.6	34.3	38.3

<b>Fecha</b>	26 de enero							
<b>Horario</b>	11:00-12:00 AM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	63	63.4	64	64	62.6	63.5	62.4	63.3
<b>63</b>	64.6	64.5	70.1	66.8	61.8	67.5	63	65.5
<b>125</b>	60.1	58.5	64.5	61.9	58	61.8	58.6	60.5
<b>250</b>	53.5	54	56.5	56	52.3	57.8	52.5	54.7
<b>500</b>	49.2	50.4	50.5	50.4	46.1	51.1	46.6	49.2
<b>1000</b>	46.8	48.5	48.3	48.9	46	48.3	46.3	47.6
<b>2000</b>	44.7	45.6	46.3	46.7	43.4	44.9	44.9	45.2
<b>4000</b>	42	40.5	42.3	42.7	36.6	39.8	38.1	40.3
<b>8000</b>	33.5	33.6	34.7	36.5	28.2	31.3	29.1	32.4
<b>16000</b>	27.3	27.8	30	28.3	25.2	27.7	25.7	27.4

<b>Fecha</b>	26 de enero							
<b>Horario</b>	18:00-19:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	70.1	69.6	65.6	65.1	64.8	65.1	66.3	66.7
<b>63</b>	65.1	67.1	67.5	66.4	65.9	64.5	66.1	66.1
<b>125</b>	62	62.3	62.1	65	63.3	63.4	62.1	62.9
<b>250</b>	52.6	54.7	58.9	60.8	56.1	58.9	53.6	56.5
<b>500</b>	47.5	53.2	52.7	55.9	53.6	51.8	47.5	51.7
<b>1000</b>	47.2	50.9	50.6	51.6	50.9	49.3	48.4	49.8
<b>2000</b>	45.7	48	48	49.4	46.2	46.1	46.9	47.2
<b>4000</b>	41.7	43.1	43	42.8	40.7	40	43.3	42.1
<b>8000</b>	38.4	37.8	36.1	36.5	35.9	34.6	35.2	36.4
<b>16000</b>	38.5	38	34.2	34.7	35.1	35.1	34.3	35.7

**Parque, comuna de Maipú**

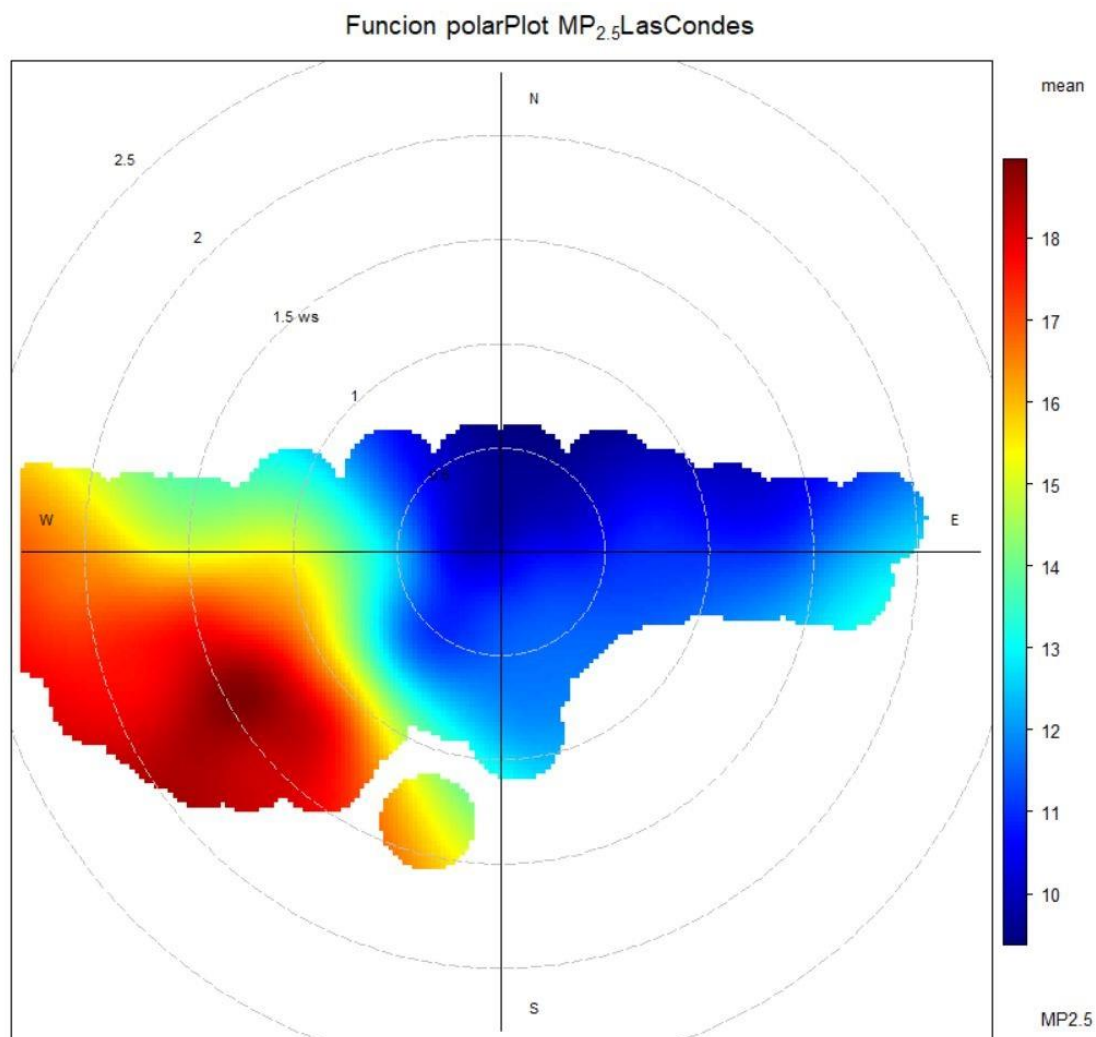
<b>Fecha</b>	20 de enero							
<b>Horario</b>	11:00-12:00 AM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	65	65.3	66.9	66.6	65.8	66	65.7	65.9
<b>63</b>	67	66.4	67.3	68.3	67.3	65.6	66.2	66.9
<b>125</b>	63.5	61.5	63.6	62.8	64.5	64	62.6	63.2
<b>250</b>	59.5	56.5	59.1	59.2	59.9	59.1	57.9	58.7
<b>500</b>	53.4	51.2	53.2	52.8	53.6	51.3	52	52.5
<b>1000</b>	50.9	50.7	52.1	52.2	51.7	50.8	51	51.3
<b>2000</b>	49.6	49.6	50.9	50.1	50.1	49.4	49.3	49.9
<b>4000</b>	45.2	45.1	45.6	44.5	46.4	46.9	45.3	45.6
<b>8000</b>	37.7	37.3	38.9	39.2	38.7	38.7	38.4	38.4
<b>16000</b>	33.7	33	30	31.1	33.2	37.7	37	33.7

<b>Fecha</b>	20 de enero							
<b>Horario</b>	18:00-19:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	66.9	68.2	67.8	66.8	65.2	67.7	67	67.1
<b>63</b>	68.7	69.5	68.2	69.1	68.8	69.7	66.5	68.6
<b>125</b>	67.4	66.4	69.2	73.5	64.9	66.3	63.5	67.3
<b>250</b>	62.6	63.5	64	70.3	59.2	65.2	59.1	63.4
<b>500</b>	60.2	59.6	60.6	61.4	55.6	62.9	56.4	59.5
<b>1000</b>	58.8	56.9	56.5	56.4	54.9	57.4	56.4	56.8
<b>2000</b>	54.3	53.4	52.4	52	52.9	54.1	53	53.2
<b>4000</b>	48.7	47.1	46.3	46.1	46.3	48.5	46.6	47.1
<b>8000</b>	41.3	39.2	39.1	39	37.9	40.6	38.4	39.4
<b>16000</b>	35.2	34.5	35.5	34.9	32	34.8	35.4	34.6

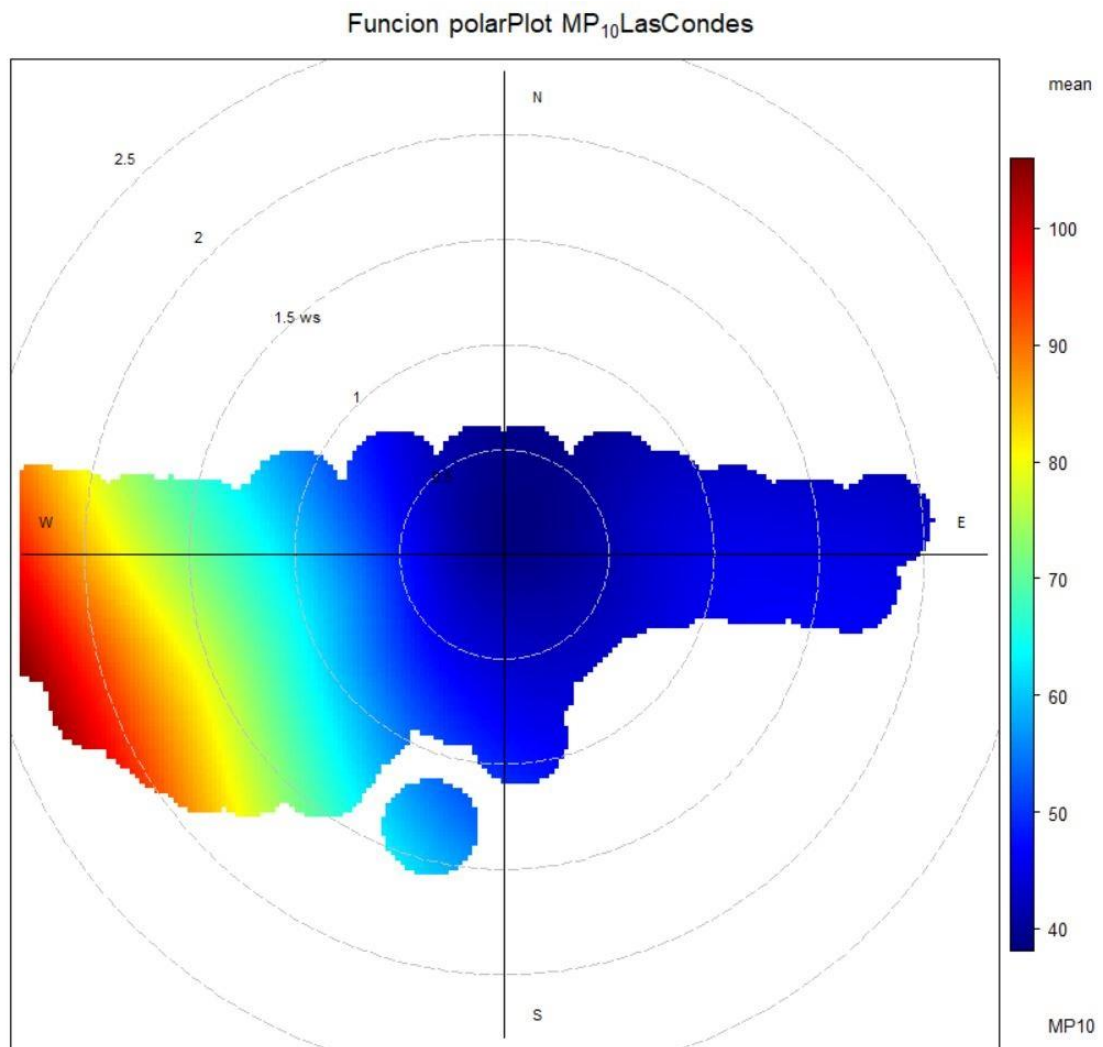
<b>Fecha</b>	27 de enero							
<b>Horario</b>	11:00-12:00 AM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	65.7	65	67.1	66.2	64.6	65.7	67	65.9
<b>63</b>	68.3	70.2	68.4	68.3	67.5	67.3	68	68.3
<b>125</b>	65.7	65.1	66.3	67.8	64	66.6	63	65.5
<b>250</b>	60.3	61.4	60.5	58.8	57.7	61.6	59.2	59.9
<b>500</b>	52.7	52.1	56.8	52.7	53	54.1	53.1	53.5
<b>1000</b>	52.1	51.7	53	52.2	53.2	53.3	52.3	52.5
<b>2000</b>	50.5	50	51.1	50.2	53.2	51.4	50.9	51.0
<b>4000</b>	45.7	44.7	46.3	45.3	48	46.8	47.4	46.3
<b>8000</b>	37.7	37	39.9	36.8	37.6	39.3	40.1	38.3
<b>16000</b>	32.2	32.7	34.4	32.5	33.7	36	37.5	34.1

<b>Fecha</b>	27 de enero							
<b>Horario</b>	18:00-19:00 PM							
<b>Banda (Hz)</b>	<b>Medición 1 (dB)</b>	<b>Medición 2 (dB)</b>	<b>Medición 3 (dB)</b>	<b>Medición 4 (dB)</b>	<b>Medición 5 (dB)</b>	<b>Medición 6 (dB)</b>	<b>Medición 7 (dB)</b>	<b>Promedio (dB)</b>
<b>31,5</b>	66.4	67.7	68.6	66	66.2	65.5	65.7	66.6
<b>63</b>	66.9	67.3	67.7	67.2	68.2	67.8	66.8	67.4
<b>125</b>	64.1	63	65.8	64.5	65.9	67.9	62.2	64.8
<b>250</b>	59.4	58	60.5	59.5	58.4	61.3	58.1	59.3
<b>500</b>	54.9	54.7	56.8	53.2	54.3	54.8	53.4	54.6
<b>1000</b>	53.9	53.2	54.9	53.3	54.8	56.5	53.4	54.3
<b>2000</b>	51.8	51.1	52.7	51.8	52.2	54.9	52.6	52.4
<b>4000</b>	46.7	46.5	47.8	48.1	47.8	48.3	48.4	47.7
<b>8000</b>	38.2	39.1	40.9	40.9	40.8	40.2	41.4	40.2
<b>16000</b>	32.7	35	35.8	36.1	34.7	43.2	38	36.5

### 3) Gráficos polarPlot sin aplicar comando “min.bin”

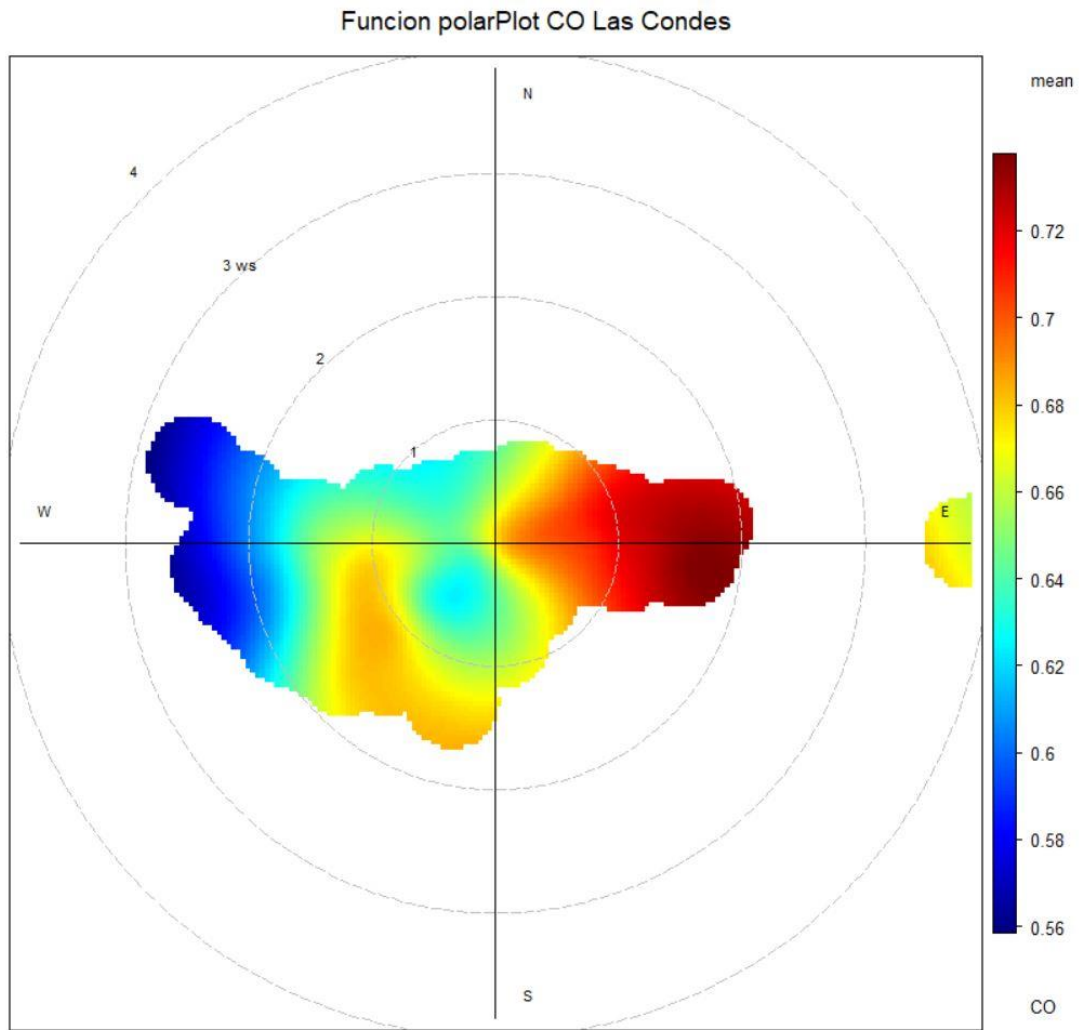


**Figura 49:** Concentraciones de MP<sub>2.5</sub> por velocidad y dirección del viento durante el período de verano en los años 2021-2022.

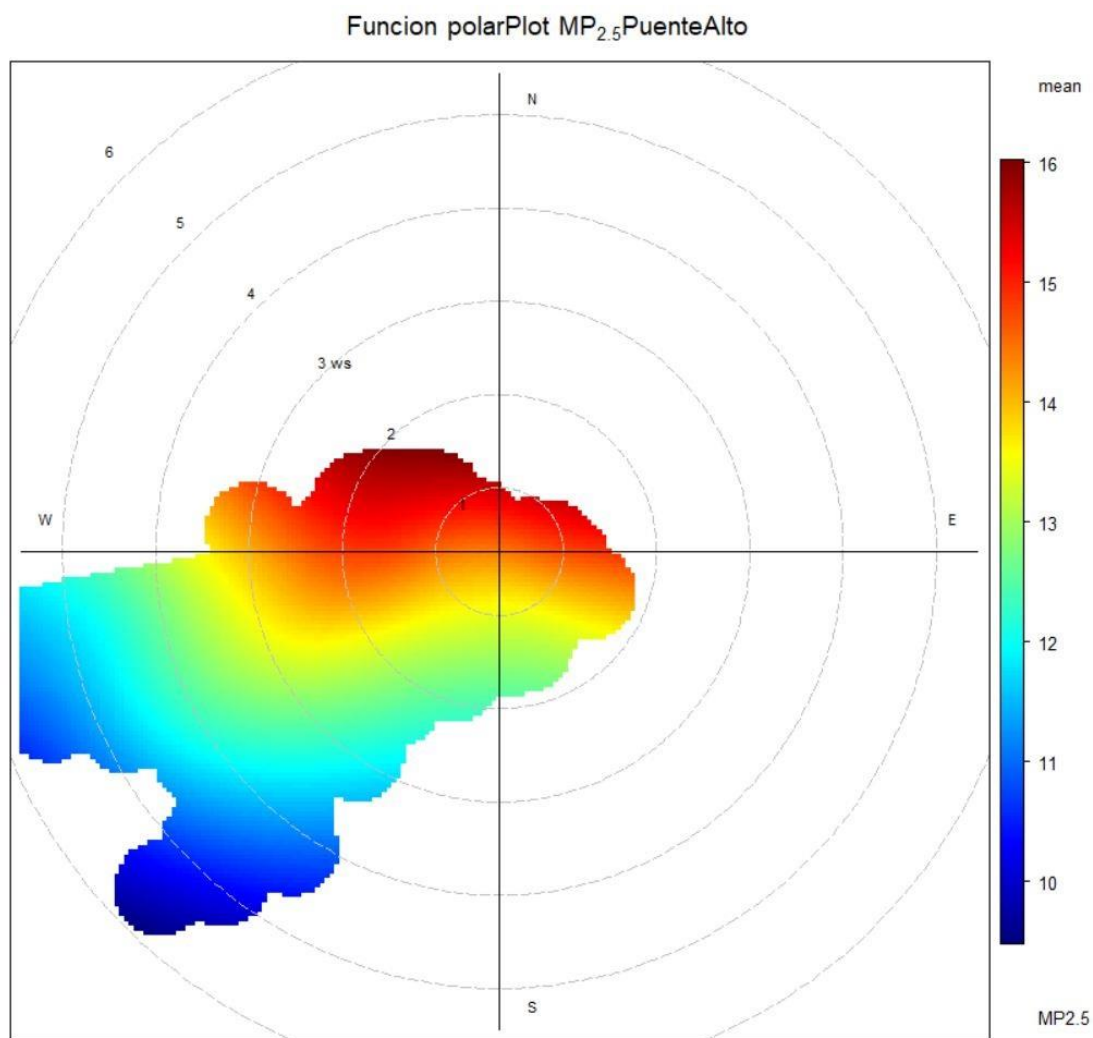


**Figura 50:** Concentraciones de MP<sub>10</sub> por velocidad y dirección del viento durante el período de verano en los años 2021-2022.

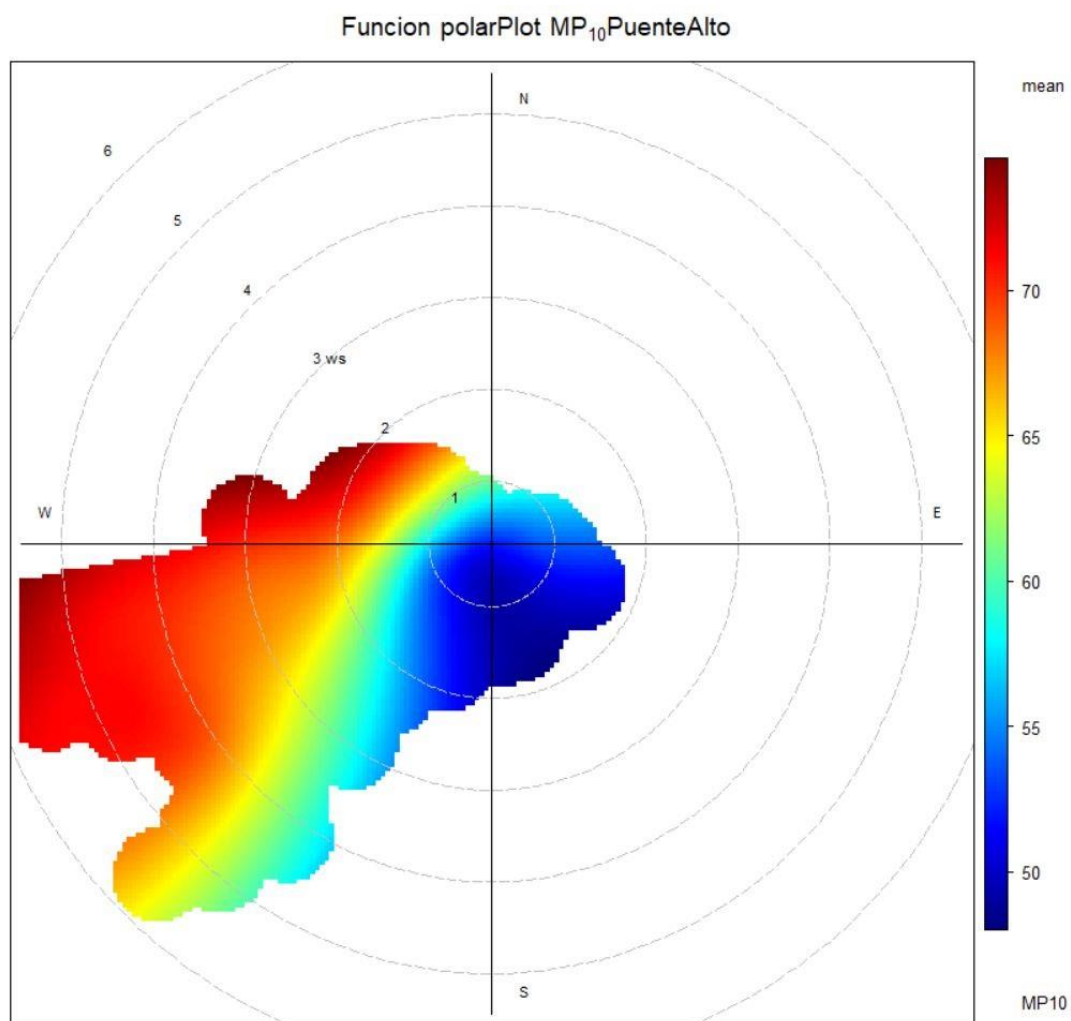




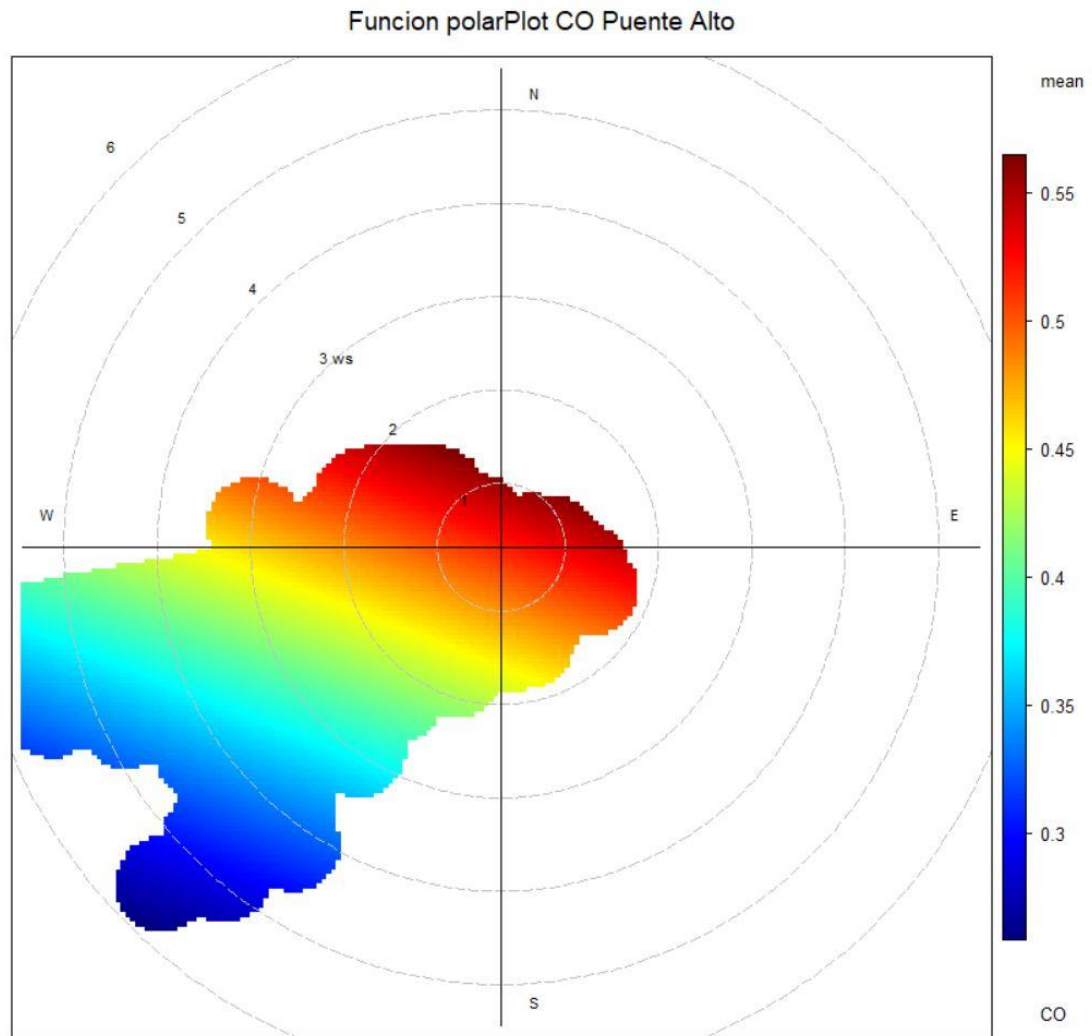
**Figura 51:** Concentraciones de CO por velocidad y dirección del viento durante el período verano en los años 2021-2022.



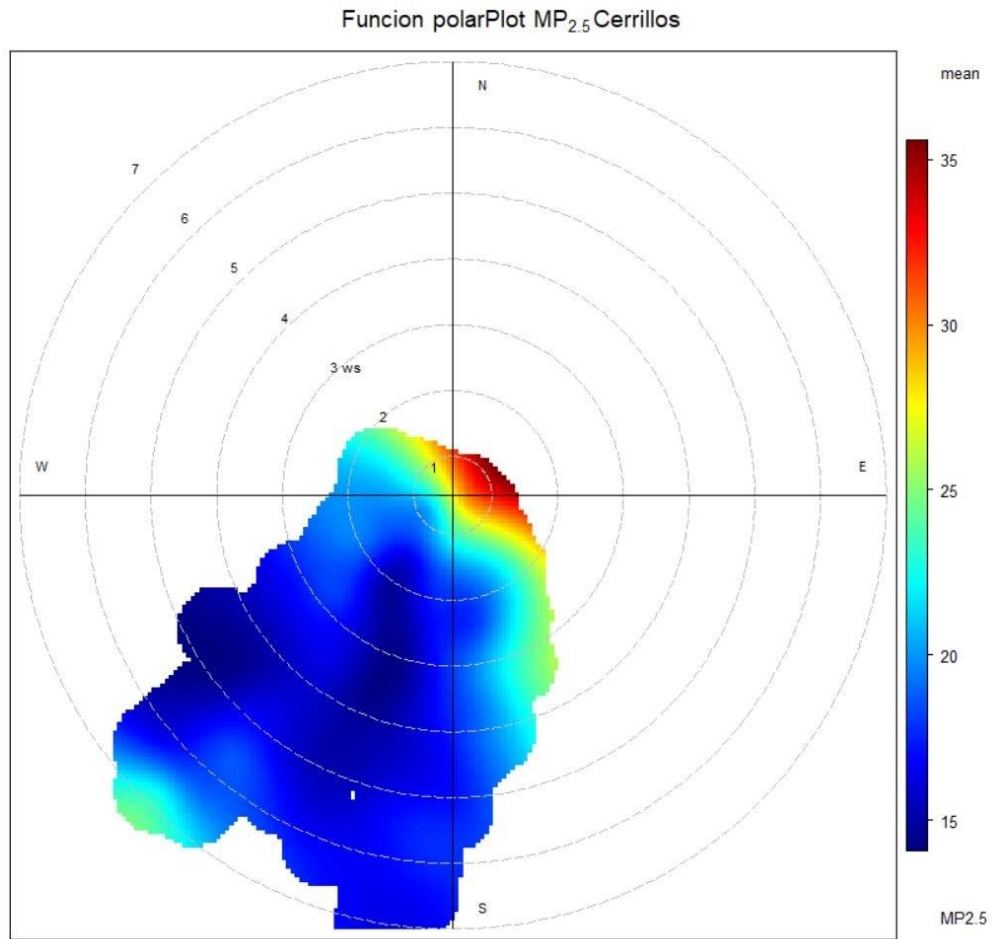
**Figura 52:** Concentraciones de MP<sub>2.5</sub> del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016, en la comuna de Puente Alto.



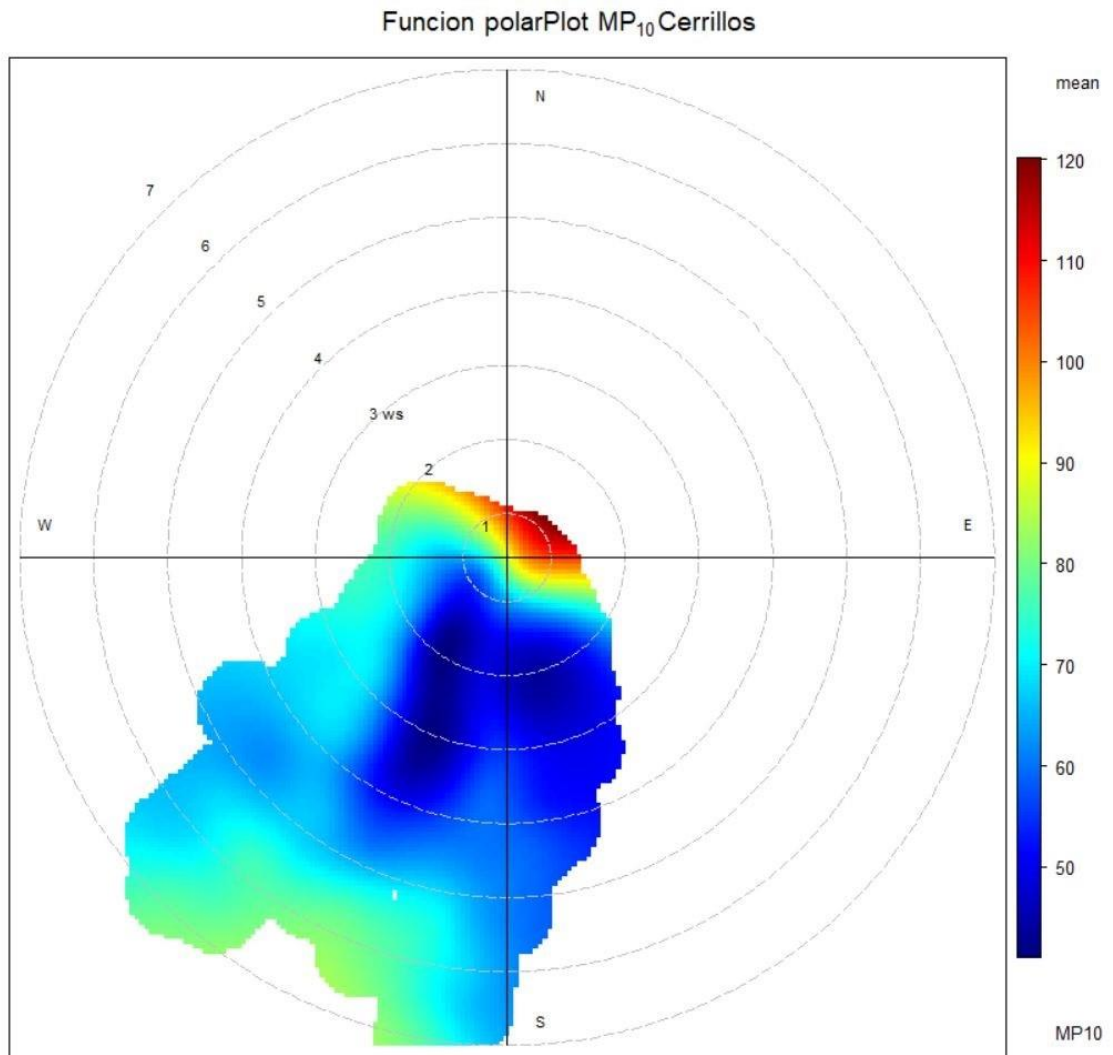
**Figura 53:** Concentraciones de MP<sub>10</sub> del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016, en la comuna de Puente Alto.



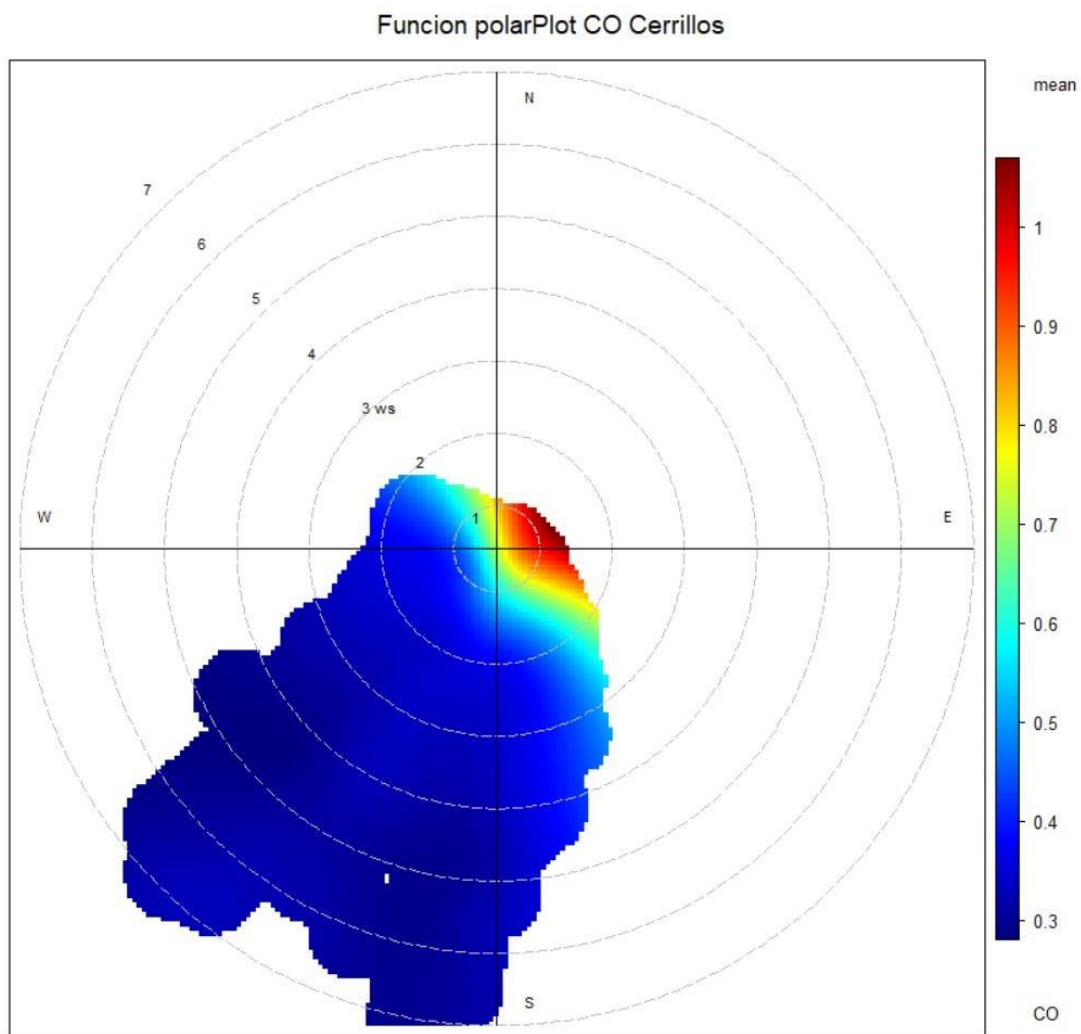
**Figura 54:** Concentraciones de CO del período de verano de 2021-2022 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los años 2011-2016, en la comuna de Puento Alto.



**Figura 55:** Concentraciones promedio históricas de MP<sub>2.5</sub> del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I.



**Figura 56:** Concentraciones promedio históricas de MP<sub>10</sub> del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I.



**Figura 57:** Concentraciones promedio históricas de CO del período de verano de los años 2011-2016 por velocidad y dirección del viento históricos durante el período verano de los mismos años en la estación Cerrillos I.